

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES PARA EL OESTE DE CARACAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Loy L, Yeen Y.
Para optar al título de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES PARA EL OESTE DE CARACAS

TUTORA ACADÉMICA: Profa. Johliny Casanova

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Francisco Arraíz

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Loy L, Yeen Y.
Para optar al título de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

Caracas, 11 de junio de 2012

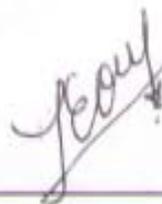
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado del Bachiller Yeen Yimmi Loy Loy titulado:

“FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES PARA EL OESTE DE CARACAS”

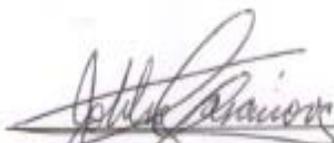
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuesta por los tutores, lo declaran APROBADO.



Prof.: Johnny R Vásquez
Jurado



Prof.: Leonardo E. Oropeza M.
Jurado



Profa.: Johliny del C. Casanova P
Tutora académica



Ing.: Francisco Arraíz
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A mis abuelos que sé que desde el cielo me están viendo, a mis padres que han luchado toda su vida por salir adelante y han sido un ejemplo a seguir, a mis dos hermanas que siempre me han apoyado y a toda mi familia en especial a mi sobrino Ismael Andrés un regalo de Dios que me iluminó en esta última parte de la Tesis y que me acompañó durante varias tardes en la redacción de ella, a mi padrino Luis Rodríguez, mis primos Cheche, Naty y Beto. A Carlos Pestana y Jennifer Pestana.

Que me han apoyado en todos mis momentos y me enseñaron que la vida se construye poco a poco, que de los errores se aprende y hay que sacar el lado positivo de la experiencia vivida, manteniendo siempre la frente en alto. El secreto es ser perseverante y tener fe en Dios de que mañana será un nuevo día. Así soy y aprendí a ser gracias a ellos, que esta vida es una sola y hay que echar para adelante.

Hoy celebro con ellos esta etapa que culmina y comienza otra llena de optimismo y con muchas ganas de seguir luchando.

De ustedes me queda el saber que con amor, paciencia, responsabilidad, compromiso, honestidad, fortaleza y unión nada es imposible, para ustedes, este trabajo como conclusión de otra etapa.

Dios lo logré...

AGRADECIMIENTOS

A la casa que vence la sombra UCV, por haberme dado la educación y conocimiento adquiridos durante mi permanencia en la Universidad, a mi tutora académica Johliny Casanova, siempre con una palabra de aliento y de regaño cuando fue necesario y supo orientarme y darme su opinión durante el desarrollo de la tesis y durante la carrera, gracias por ser como es con sus alumnos y ahora como su tesista.

A todos mis profesores: Alejandra Meza, Narciso Pérez, Marilú Alonso (gracias por prestarme su libro y guía de mecánica de fluidos); María Rodríguez, Alí Lara, Andrés Rosales, Armando Vizcaya, Luis García, Susana Pinto, Humberto Kum, Mina Vivas, Omaira Camacaro, a mi jurado Leonardo Oropeza y Johnny Vásquez, a mis amigos de Ingeniería no los menciono porque son demasiados y me daría pena olvidar a alguno y a mis amigos de la Facultad de Ciencias (asocuaimas): Jesmary, Hecmily, Lysmary, Yoliana, Susana, Magdalena, Bertha, Margadelys, María Alejandra, Lucibell, María, Yelitza, y mis panas Alexis, Arturo, Miguel; Facultad que me vio dar mis primeros pasos en la UCV.

A Mau por el tiempo que me acompañaste por escucharme, explicarme y siempre darme ánimo para continuar. Fuiste la motivación de muchas cosas que logré y sencillamente seguirás siendo alguien especial para mí. Nunca olvidaré unas palabras que siempre me decías: Vamos jovencito que si se puede. Y una nota que me dejastes en mi oficina que decía: ¡Mucho éxito Ing Loy, cuidate! T.Q.M “Aplica el criterio ingenieril”. “Munvis te da las Gracias”.

A mis preparadores, amigos, y compañeros de estudio: Lisbeth Moreno, Marinés Martínez, Luis Anzóla por siempre estar allí cuando lo necesitaba y nunca dudaron en tenderme una mano.

A los amigos de la biblioteca de Ingeniería que siempre fueron muy amables y cordiales: Leudith Figuera, Sr Fermin y a la gordita.

A Laura Ruiz compañera de estudio de Ingeniería y que tuvo la confianza en mí para recomendarme a mi tutor industrial Francisco Arraíz y a la compañía donde realicé mi Tesis de Grado. Gracias.

A mis tutores en Petróleos de Venezuela “Filial PDVSA Ingeniería y Construcción”: Francisco Arraíz, Saúl Blanco, Guillermo Naranjo, que supieron orientarme y aconsejarme siempre que tuve dudas en la ejecución de este Trabajo Especial de Grado, de verdad su opinión fue muy valiosa durante toda mi estadía en la compañía. A Mariellys Ricaurte por quitarme responsabilidades de encima en la oficina, apoyarme, explicarme y estar siempre dispuesta a ayudarme. A mis amigos y compañeros de trabajo: Rubimar Núñez, Leida Vargas, Hanoy González (Gracias por revisarme y hacerme las observaciones para mejorar el tomo II), Vanessa García, Kenia Contreras (Gracias por ayudarme con las imágenes), Idabelys Méndez, José Chacón, Jorge Barbeito, Daniel Colmenares.

A Kaiberth Martínez, gracias por instalarme el editor de ecuaciones y los simuladores que utilice en la tesis en la PC de la oficina, mucha suerte en este nuevo reto que te puso Dios en tu camino, el de ser madre, te lo mereces, felicitaciones.

A Maryori Marcano por estar pendiente, gracias a ella pude obtener las composiciones de los combustibles, que fueron tan difíciles de encontrar. Gracias

A mis tutoras en la empresa de consultorias, las Ingenieras Herminia López y Patricia Gentile (Paty), con ellas no tengo palabras con que agradecerles la paciencia y disposición en atenderme en todas las dudas que se me presentaron durante la tesis, gracias por brindarme la oportunidad de aprender al lado de ustedes y dar mis primeros pasos en esta bella Profesión de Ingeniería. Paty gracias por tener paciencia conmigo, por ayudarme y darme los tips con las simulaciones, gracias a ti manejo lo básico de Pipephase. A la señora Herminia por ayudarme con sus sabios consejos durante toda la tesis, me siento orgulloso de poder haberme ganado el honor de que me considere como su pupilo. Mil Gracias.

Al grupo multidisciplinario de la consultora Ditech: Sr Wladimir Bolívar, Karina, Humberto Ilja, la señora Mercedes. Por ayudarme con la encuesta al equipo multidisciplinario de dicha consultora en la selección de tecnología.

De verdad creo que he tenido la suerte de conocer, compartir, aprender, visitar a muchas personas que siempre tuvieron la disposición de enseñar, cosa que no es fácil encontrar.

Gracias Totales.

Loy L., Yeen Y.

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO DE UNA PLANTA
DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE
COMBUSTIBLES PARA EL OESTE DE CARACAS**

Tutor Académico: Profa. Johliny Casanova

Tutor Industrial: Ing. Francisco Arraíz

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería
Química.**

Año 2012, 135 pág.

Palabras Claves: Plantas de combustibles, tanque de almacenamiento de combustible, poliducto, cálculo hidráulico, simulaciones.

Resumen. La planta de distribución Guatire actualmente distribuye combustible a toda la gran Caracas. Por este motivo se diseñó una nueva planta de distribución y almacenamiento de combustible para el oeste de la gran Caracas ubicado en el sector Salto Boquerón, con la cual se pretende disminuir la demanda de la planta Guatire.

Debido a la poca disponibilidad de espacio fue necesario tomar en cuenta otras alternativas de almacenamiento, es por ello, que se estudió la posibilidad de utilizar tanques enterrados, la cual fue comparada con la tecnología tradicional mediante una matriz de evaluación multicriterios, de la cual resultó seleccionada la tecnología convencional. Esta planta se diseñó con una capacidad instalada de 135MB siguiendo el criterio de mini-Plantas, en la cual se maneja un rango entre 80 y 240 MB. El resto del combustible 200MB estará almacenado en la planta nodriza en Catia La Mar. La demanda de combustible estimada en caso de contingencia para 2029, es de 76.370BPD y será la utilizada para el diseño de los tanques de almacenamiento, distribuida de la siguiente manera: gasolina de 95 octanos 47.050BPD, gasolina de 91 octanos 11.200BPD. El diesel tiene una demanda de 18.120BPD, el cual tiene dos usos: automotor e industrial, no se está considerando para el diseño de los tanques, su uso para generación de plantas termoeléctricas.

Para transportar el combustible desde la planta de almacenamiento y distribución de Catia La Mar hasta la nueva planta oeste fue necesario diseñar un sistema de bombeo que impulsara el fluido a través del poliducto hasta el patio de tanques. El cual tendrá un diámetro de 10 pulgadas y 3,77 kilómetros de longitud que puede manejar 95.463BPD fijando un factor de utilización del poliducto de 80%, que equivalen a dos bombas centrífugas de 47.731,5 BPD (1.392 GPM) cada una, es por ello que para poder cubrir la demanda en contingencia de 76.370 BPD será necesario dos bombas centrífugas colocadas en paralelo durante un periodo de operación de aproximadamente 20 horas.

La demanda requerida en operación normal 40.600 BPD (1184,17GPM) la cual será cubierta con dos bombas en operación de 47.731,5 BPD (1.392 GPM) durante un período de aproximadamente 10 horas.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I	16
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento del Problema.....	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2. Objetivo Específico.....	17
1.3. Descripción de Antecedentes	18
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. TANQUES ENTERRADOS.....	21
2.2 TANQUES CONVENCIONALES SUPERFICIALES.....	25
2.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento convencionales	25
2.2.2. Tipos de techos.....	26
2.2.3. Boquillas en tanques de almacenamiento	27
2.2.4. Complejidad del manejo producto fuera de especificación	27
2.3. SIMULACIONES EN PIPEPHASE Y PRO II	28
2.4. BOMBAS	28
2.4.1. Carga neta positiva de succión.....	29
CAPÍTULO III	30
MARCO METODOLOGÍCO	30
3.1 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA QUE MEJOR SE ADECUE PARA LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DE DIESEL.....	30
3.1.1. Búsqueda de la información.....	31
3.1.2. Matriz de evaluación de Tecnología	32
3.2. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y DIESEL.....	38

3.3. SIMULACIÓN DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA LA PLANTA OESTE	38
3.4. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA LA PLANTA OESTE	39
3.4.1. Dimensionamiento de tuberías.....	40
3.5. GENERACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DE INGENIERÍA QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA EL OESTE DE LA GRAN CARACAS.....	40
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
4.1. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.....	41
4.2. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN	51
4.2.1. Bases de diseño	51
4.2.2. Criterios de velocidad y caída de presión	52
4.2.3. Seguridad	53
4.2.4. Sistemas de alivio descarga a sistemas cerrados.....	54
4.2.5. Descarga a sistema abierto (atmósfera).....	54
4.2.6. Válvula de control.....	54
4.3. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE	54
4.3.1. Bases de Diseño	55
4.3.2. Criterios de Diseño.....	57
4.4. SIMULACIÓN DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA EN CATIA LA MAR HASTA LA PLANTA OESTE, PARA LOS DISTINTOS COMBUSTIBLES	58
4.4.1. Bases de Diseño	60
4.4.2. Criterios de Diseño	61
4.4.3. Simulaciones en PRO II.....	63

4.5. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA PLANTA OESTE .	64
4.5.1. Bases y criterios de diseño	65
4.5.2. Determinación del NPSHd.....	66
4.5.3. Dimensionamiento de tuberías.....	68
4.6. DOCUMENTOS DE INGENIERÍA QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y EL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA PLANTA OESTE	69
4.6.1. Listado de equipos	69
4.6.2. Códigos y normas aplicables.....	69
4.6.3. Descripción y filosofía del proceso.....	70
4.6.4. Diagramas de flujo del proceso y diagramas de tuberías e instrumentación	77
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
APÉNDICE A	93
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN LA MATRIZ DE SELECCIÓN.....	93
APÉNDICE B	103
DISTRIBUCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	103
APÉNDICE C	104
DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES.....	104
APÉNDICE D	106
HOJAS DE ESPECIFICACIONES	106
APÉNDICE E	111
PERFIL TOPOGRÁFICO DEL POLIDUCTO	111
APÉNDICE F	117
DETERMINACIÓN DEL DIÁMTERO DEL POLIDUCTO	117
APÉNDICE G	126
PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	126
APÉNDICE H	128

CÁLCULO DE BOMBAS UTILIZANDO EL SIMULADOR PRO/II.....	128
SIMULACIÓN (BOMBAS/GASOLINA)	128
SIMULACIÓN (BOMBAS/DIESEL)	129
APÉNDICE I	131
HOJA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS BOMBAS	131
DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Criterios Evaluados para las tecnologías de Almacenamiento	32
Tabla N° 2. Matriz Multicriterio de selección de opciones (rij: rating de cada alternativa j en función del criterio i).....	34
Tabla N° 3. Matriz Multicriterio de selección de opciones.....	37
Tabla N° 4. Datos suministrados a la hoja de cálculo para el diseño de las bombas centrífugas.....	40
Tabla N° 5. Capacidades de los Tanques de Almacenamiento Superficiales	43
Tabla N° 6. Capacidad de Tanques de Fibra de Vidrio requeridos.....	44
Tabla N° 7. Matriz Multicriterio de selección de opciones (rij: rating de cada alternativa j en función del criterio i).....	45
Tabla N° 8. Matriz Multicriterios de selección de opciones	46
Tabla N° 9. Tabla Comparativa entre Tecnologías	50
Tabla N° 10. Velocidad y Caídas de Presión para Líquidos	53
Tabla N° 11. Capacidad de diseño general Planta de Distribución Oeste.....	55
Tabla N° 12. Usando la API 650 para tanques de almacenamiento de combustible..	56
Tabla N° 13. Capacidad instalada y dimensiones de los tanques de combustible	56
Tabla N° 14. Variables empleadas para la simulación	58
Tabla N° 15. Propiedades de los fluidos a ser transportados en el Poliducto a las condiciones de operación (25°C y 14,7psia).....	60
Tabla N° 16. Criterios de Diseño para la evaluación del Poliducto	61
Tabla N° 17. Resultados de la evaluación hidráulica del poliducto.....	61
Tabla N° 18. Cuadro comparativo de las propiedades de los fluidos a ser transportados por el poliducto.....	63
Tabla N° 19. Resultados de la simulación de la gasolina.....	64
Tabla N° 20. Resultados de la simulación del diesel.....	65
Tabla N° 21. Demanda en condiciones normales de la Planta de Distribución y Almacenamiento para el Oeste de Caracas	65
Tabla N° 22. Resultados de la hoja de cálculo del diseño de bombas centrífugas.....	67
Tabla N° 23. Especificaciones de la bomba centrífuga.....	67

Tabla N° 24. Resultado obtenido de las iteraciones para obtener el diámetro de tubería.....	68
Tabla N° 25. Listado de equipos	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema de control de fugas en tanques de doble pared de Xerxes	22
Figura N° 2. Arreglo de varios tanques de Fibra de vidrio	24
Figura N° 3. Arreglo de dos tanques de Fibra de vidrio	24
Figura N° 4. Tanques de Acero Convencionales (Techo Fijo)	26
Figura N° 5. Tanque de Acero Convencionales (Techo Flotante)	27
Figura N° 6. Pasos para la búsqueda de información de la tecnología que mejor se adecue a los tanques de almacenamiento de combustible.....	31
Figura N° 7. Perfil de presión del poliducto de las evaluaciones hidráulicas realizadas con Gasolina.....	62
Figura N° 8. Perfil de presión del poliducto de las evaluaciones hidráulicas realizadas con diesel.....	62

INTRODUCCIÓN

Los tanques enterrados de fibra de vidrio han sido utilizados principalmente en las estaciones de servicio de combustibles, así como también en el almacenamiento estratégico de combustibles para ser utilizados en caso de una contingencia natural o conflictos bélicos, donde se corten los suministros regulares del producto.

Debido a las limitaciones de terreno para la implantación de una nueva planta de distribución y almacenamiento de combustible para el oeste de Caracas, se pensó en la posibilidad de estudiar la factibilidad técnica del diseño de una planta usando dicha tecnología. Partiendo de una matriz de evaluación multi-variable de tecnología utilizando el método de ponderación lineal donde las opciones a evaluar fueron: tanques enterrados de fibra de vidrio, tanques superficiales convencionales, y tanques de acero enterrados; con esto se obtuvo la tecnología más adecuada para el almacenamiento de combustible en la nueva planta que surtirá de combustible al oeste de Caracas a partir del año 2016.

Algunas de las variables que tuvieron mayor ponderación en la matriz de evaluación fueron: el área que ocupará los tanques, los daños ambientales que pueden acarrear la implementación de dicha tecnología, desde el punto de vista operativo, de control y de confiabilidad de las instalaciones.

Luego de obtener los resultados de la matriz de tecnología se realizó el dimensionamiento de los tanques de la tecnología seleccionada, después de esto, se iteró utilizando el simulador Pipephase el diámetro del poliducto que servirá como medio de transporte de combustible entre la nueva planta de Catia la Mar (planta nodriza) con la nueva planta oeste, siguiendo las normas PDVSA para dicho cálculo hidráulico, que incluyó determinar el sistema de bombeo necesario para llevar el combustible de un lugar al otro.

Finalmente se realizaron los diagrama de flujo del proceso y diagramas de tuberías e instrumentación para ayudar a comprender la descripción y filosofía de operación de todo el proceso; además se incluyeron un listado de equipos necesarios y serán mencionadas las normas aplicadas.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se exponen las bases que fundamentan la investigación de este Trabajo Especial de Grado, tales como el planteamiento del problema, los objetivos propuestos y antecedentes.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde que fue desmantelada la vieja planta de distribución de combustible Cantina por una falla topográfica, la cual era la encargada de distribuir combustible a la zona oeste de Caracas, toda la distribución de combustible del área metropolitana recae en la planta de distribución Guatire, por lo que PDVSA se vio en la necesidad de construir una nueva planta de distribución de combustible, con el fin de desahogar dicha planta, pero debido a las limitaciones de terrenos que tiene Caracas para la construcción de esta nueva planta, se propuso un proyecto para estudiar la factibilidad técnica de una planta de distribución y almacenamiento de combustibles, la cual estará ubicada en la zona oeste de la ciudad y se denominará planta oeste, para así cerrar a mediano plazo un circuito de abastecimiento, comercialización y distribución confiable y segura, de los productos derivados de los hidrocarburos (diesel, gasolina de alto y medio octanaje).

Es por este motivo que se propuso como Trabajo Especial de Grado la búsqueda de nuevas tecnologías de almacenamiento de gasolina y diesel, con el fin de reducir y optimizar el área que ocupará la nueva planta oeste debido a las limitaciones de espacios existentes.

La ubicación de la planta y la ruta más adecuada entre la nueva planta de Catia la Mar hasta la planta oeste fue definida en la etapa conceptual del proyecto macro en el cual se encuentra enmarcado este Trabajo Especial de Grado, en donde se va a simular y especificar el poliducto para los distintos productos a transportar.

La planta de distribución de combustibles del oeste de Caracas beneficiará a gran parte de esta ciudad y será diseñada para una vida útil mínima de veinte años. Se proyecta su puesta en marcha en el año 2016, por lo cual deberá ser diseñada para

manejar volumetrías de gasolinas y diesel del sector oeste de la ciudad de Caracas para satisfacer los requerimientos del cliente; así como también manejar los diferentes productos de acuerdo a la distribución estimada de los mismos para el año 2030.

1.2 OBJETIVOS

A continuación se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que se desarrollaron en el presente Trabajo Especial de Grado.

1.2.1 Objetivo General

Estudiar la factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas utilizando la tecnología que mejor se adecue a la limitación de espacio que se encuentre en la zona metropolitana.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar tecnologías para la optimización de los espacios destinado a los tanques de combustible en una planta de distribución y almacenamiento de combustible.
2. Diseñar los tanques de almacenamiento de gasolina y diesel de acuerdo a la tecnología escogida.
3. Simular el poliducto desde la nueva planta ubicada en Catia La Mar hasta planta oeste, para los distintos productos derivados de los hidrocarburos (diesel, gasolina de alto y medio octanaje).
4. Establecer el sistema de bombeo del poliducto desde la nueva planta ubicada en Catia La Mar hasta planta oeste, para los distintos productos derivados de los hidrocarburos (diesel, gasolina de alto y medio octanaje).
5. Generar los documentos de ingeniería que soporten el diseño de los tanques de almacenamiento y el poliducto desde la nueva planta de Catia la Mar hasta la planta oeste (listado de equipos, descripción y filosofía de operación del proceso, diagrama de flujo del proceso, diagrama de tubería e instrumentación).

1.3. DESCRIPCIÓN DE ANTECEDENTES

PDVSA Ingeniería y Construcción nació con la visión de ser una empresa de referencia nacional e internacional en servicios de ingeniería y construcción, responsable de la ejecución y gerencia integral de proyectos estratégicos en todas sus fases, reconocida por su alto compromiso y responsabilidad social.

Su misión es proveer por cuenta propia, servicios de ingeniería y construcción a Petróleos de Venezuela, empresas mixtas y otras instituciones del estado, dentro y fuera del país, mediante la ejecución de proyectos estratégicos en todas sus fases, aplicando la experticia del talento humano, con tecnología de vanguardia, en armonía con el medio ambiente, asegurando una gestión con sentido humanista, para contribuir al desarrollo de una cadena socio-productiva de alta eficiencia y a la consolidación del nuevo modelo productivo.

En la actualidad uno de los proyectos que está llevando a cabo esta filial es la nueva planta oeste, la cual se inicia con la visualización hecha por la empresa:

Geohidra Consultores C.A. (2008). Esta consultora realizó la evaluación y propuesta del sitio más conveniente para la construcción de una planta de distribución de combustible dirigida a satisfacer la demanda del sector oeste del área metropolitana de Caracas, realizando un importante esfuerzo por considerar de manera temprana los aspectos ambientales y socioculturales como parte fundamental del proceso de evaluación y selección del sitio en el cual se emplazará la infraestructura proyectada, en concordancia con los aspectos técnicos y de ingeniería correspondiente.

La selección del sitio más recomendable para la localización de este proyecto fue un proceso de análisis deductivo. Dentro de este proceso deductivo, la primera fase desarrollada consistió en la realización de una visualización ambiental y sociocultural, la cual fue abordada en dos etapas sucesivas o niveles de aproximación, fundamentados en el estudio de múltiples aspectos temáticos del área de estudio y el posterior procesamiento y análisis de datos espaciales utilizando información geográfica.

Como resultado de la fase de visualización, un total de 40 sitios posibles fueron identificados. De las cuales 24 fueron consideradas “altamente factibles” desde el punto de vista ambiental y sociocultural.

Ditech Estudios y Proyectos (2011). En esta fase pasaron a ser evaluadas los 24 sitios posibles identificados en la etapa de visualización, incorporando ahora aspectos más directamente vinculados con la ubicación estratégica y operativa del proyecto, y tomando en cuenta criterios relativos a la construcción, operación y mantenimiento, quedando sólo cuatro para el estudio de la posible ubicación, inicialmente, los sitios propuestos para la construcción de la planta de distribución de combustible para el oeste de Caracas, fueron los siguientes:

- Los espacios localizados al sur del poblado Salto Boquerón, carretera Caracas - La Guaira.
- Áreas militares en las cercanías de Fuerte Tiuna.
- Las Mayas.
- Adyacencias de la zona de Caricuao (San Pablito), en terrenos a ser indicados por PDVSA al inicio de la ingeniería conceptual.

Luego de evaluar las diferentes opciones, quedó seleccionado un terreno ubicado en el sector “Salto Boquerón”, ubicado al sur del poblado Salto Boquerón, a 1,5km, específicamente al sur-este de la entrada sur del túnel Boquerón 1, carretera Caracas-La Guaira, siendo esta la localidad utilizada en este Trabajo de Grado.

Adicionalmente se realizó la búsqueda de información sobre plantas de almacenamiento y distribución de combustible que ya existiesen o que se encontraran en construcción que pudiesen servir como referencia del presente Trabajo Especial de Grado y que pudieran contribuir a desarrollar las bases teóricas y criterios de diseño para el proyecto, a continuación se muestran algunos ejemplos y se destacan los aspectos más relevantes:

AB Proyectos e Inspecciones (2010). Llevó a cabo el proyecto nueva planta de distribución de combustible Catia La Mar.

Las bases y criterios establecidos permitieron el diseño para la completación de la ingeniería conceptual, el cual contempla las siguientes instalaciones:

- Sistema de rebombeo para combustibles (gasolina 91/95 y AV-gas, , diesel, jet A1), desde la costa hasta el nuevo patio de tanques de almacenamiento combustibles.

- Corredor de tuberías para el despacho de los productos combustibles desde la costa hasta el nuevo patio de tanques.
- Accesos / vialidad desde la costa hasta las nuevas instalaciones.
- Patio de tanques de almacenamiento de combustibles. El cual incluye el recibo y almacenamiento de combustibles para satisfacer la demanda del Estado Vargas y del oeste de Caracas.
- Llenadero de camiones para abastecer el combustible asociado a la demanda del Estado Vargas. Esta instalación incluye la estación de bombas hacia el llenadero de camiones.
- S/E eléctrica.
- Servicios industriales (agua potable, aguas aceitosas, aguas servidas, aire comprimido para servicio e instrumentación, electricidad).

Ditech Estudios y Proyectos (2007). Realizó el proyecto PDV Caribe planta de distribución de combustibles San Vicente, la cual está ubicada en la zona de Lowmans Bay, al suroeste de Kingtown la capital de la República de San Vicente y Las Granadinas. En donde algunas de las bases de diseño que fueron consideradas para el desarrollo de la ingeniería de detalle del proyecto se presentan a continuación:

- Los productos que maneja la planta de distribución de combustibles San Vicente son: gasolina 91/95, jet A1, diesel y GLP.
- Las condiciones de alimentación de los productos despachados desde los buques tienen una presión máxima de 100 psig y una tasa de 550 gpm para la gasolina 91/95, jet A1 y diesel; mientras que el GLP será enviado a una tasa de 250 gpm.
- Los criterios de diseños generales utilizados en el diseño y especificación de los equipos y líneas instalados en la planta de distribución de combustibles San Vicente fueron:
 - ✓ Máxima seguridad de las operaciones.
 - ✓ Máxima operabilidad y simplicidad de operación, diseño y construcción.
 - ✓ Mínimo impacto ambiental y afectación a terceros.
 - ✓ Mínimos costos de inversión, de operación y de mantenimiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Debido a la poca disponibilidad de espacio para instalar planta oeste fue necesario tomar en cuenta otras alternativas de almacenamiento de combustible para la construcción de esta nueva planta diferentes a las convencionales, es por ello que unas de las opciones que se pensó utilizar es usar tanques enterrados. A continuación se describen aspectos generales sobre dichos tanques.

2.1. TANQUES ENTERRADOS

Hasta mediados de los años 80's, la mayoría de los tanques de almacenamiento subterráneos eran de acero al carbono, propensos a corroerse con el tiempo y pudiendo dar lugar a la fuga del contenido del tanque hacia el medio ambiente circundante. Adicionalmente, una instalaciones defectuosa o inadecuados procedimientos de operación y mantenimiento también pueden causar la liberación del contenido de los tanques hacia el medio ambiente.

El peligro potencial de una fuga del contenido de un tanque de almacenamiento subterráneo que contenga gasolina o diesel, es que puedan filtrarse en el suelo y contaminar las fuentes de aguas subterráneas cercanas. Además de riesgos de seguridad y ambiente, incluyendo el peligro potencial de incendio y explosión.

En 1984, en Estados Unidos, el congreso ordenó el desarrolló de un exhaustivo programa para la regulación de los tanques enterrados de almacenamiento de petróleo u otras sustancias peligrosas. El congreso ordenó a la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, EPA (por sus siglas en inglés, environmental protection agency), publicar regulaciones para que los propietarios y operadores de nuevos tanques y de tanques existentes subterráneos verifiquen, prevengan, detecten, y se responsabilicen por la limpieza y daños ocasionados por las fugas que se pudieran tener en el sitio. Al mismo tiempo se prohibió la instalación de tanques enterrados y tuberías de acero sin protección, comenzando en el año de 1985. (Minnesota Pollution Control Agency MPCA, 2008)

En 1988, la EPA publicó las regulaciones de tanque de almacenamiento enterrados, incluyendo un período de 10 años que requería que todos los operadores mejoraran o actualizaran los tanques subterráneos.

Esta legislación entró en vigencia en el año 1989. Muchos tanques de almacenamiento se retiraron sin ser reemplazados durante el programa de 10 años establecido y muchos otros tanques subterráneos viejos fueron reemplazados con nuevos tanques construidos de materiales resistentes a la corrosión (como la fibra de vidrio) y de doble pared que permite dar cabida a los sensores de detección de fugas en el espacio intersticial formado y la contención de cualquier fuga del tanque interior. Las tuberías fueron reemplazadas durante el mismo período, la mayoría con tuberías nuevas construidas de doble pared y fibra de vidrio o plástico. (Office of Underground Storage Tanks, 1988)

En los últimos tiempos, fueron instalados sistemas de monitoreo de tanques capaz de detectar fugas tan pequeñas como 0,1 galones por hora y fueron adoptados otros métodos para alertar al operador sobre fugas y posibles fugas en el tanque. A continuación se presenta un esquema (Figura N°1) de un tanque de doble pared de Xerxes Corporación® con el sistema de monitoreo hidrostático, TRUCHEK®, para la detección continua de fugas tanto del primer como del segundo tanque, mediante un fluido de monitoreo colocado en el espacio intersticial formado entre la pared de los dos paredes del tanque.

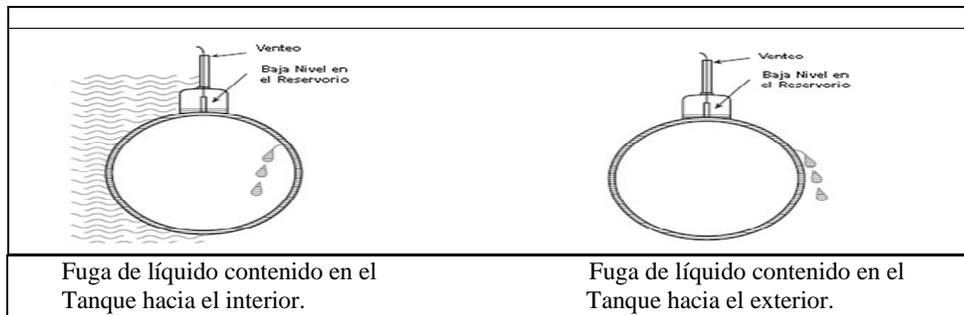


Figura N°1: Esquema de control de fugas en tanques de doble pared de Xerxes.

Fuente: Xerxes, Corporation (2009). "Fiberglass underground petroleum storage tank". Canadá.

Estos tanques de fibra de vidrio son compatibles con nuevos combustibles mezclados con etanol y biodiesel, no requieren mantenimiento preventivo para corrosión, y a diferencia de los tanques de acero, están en continua supervisión

hidrostática, lo que lleva a suponer que son los sustitutos en el mercado de los tanques tradicionales de acero en estaciones de servicio. (Xerxes, Corporation, 2009).

Después de muchos años de su introducción en el mercado, un gran porcentaje de los tanques vendidos en Norteamérica son hechos de fibra de vidrio. Se estima que en Canadá más del 90% de los tanques instalados en todo el país para almacenamiento de derivados del petróleo son de fibra de vidrio. Desde el 2008, más de 150.000 tanques de fibra de vidrio han sido instalados, y el número sigue en aumento. (Xerxes, Corporation, 2009).

Los tanques de fibra de vidrio son fabricados bajo las más estrictas normas de calidad de proceso y de materiales a través de las normas: ASTM D4021-92, Underwriters Laboratorios (UL 1316), Nacional Fire Protection Association (NFPA-30, NFPA 30ª Y NFPA-31). Los más usados actualmente son los tanques de doble pared (ecológico) debido a que además de su sistema de detección de fugas presentan las siguientes características: (Xerxes Corporation, 2009).

- Capacidad máxima que puede contener los tanques de almacenamiento es de 100.000 L (628,98barriles).
- Compatibles para todo tipo de combustibles.
- Uso en químicos corrosivos.
- No se corroen externa ni internamente.
- Doble contención.
- Cuentan con garantía de 30 años, por defectos de fabricación.

Además de sus ventajas funcionales, los tanques de fibra de vidrio son significativamente más ligeros y fáciles de instalar que los tanques de acero porque ellos eliminan el costo de alquilar el equipo pesado durante la instalación. Otra ventaja es que los tanques de fibra de vidrio pueden a menudo ser movidos de una instalación original para ser ubicados y certificados en una nueva posición. (Industrias fibratank UST, C.A. 2002).

Los tanques enterrados construidos con fibra de vidrio, horizontales tipo “salchicha”, con capacidad máxima de almacenamiento de 100.000 Litros por tanque. Estos tanques requieren condiciones especiales del terreno para su instalación, dependiendo de las recomendaciones de cada fabricante. La succión

del producto almacenado en estos tanques se realiza desde el tope. (Containment solutions, 1960).

En las figuras N°2 y N°3 se pueden apreciar dos tipos de configuraciones para tanques construidos a partir de fibra de vidrio con diferentes capacidades.



Figura N°2.Arreglo de varios tanques de Fibra de Vidrio.



Figura N°3. Arreglo de dos tanques de Fibra de Vidrio.

A continuación, se mencionan algunas aplicaciones donde se utilizan diversos tipos de tecnologías y estructuras para el almacenamiento subterráneo de hidrocarburos (gas natural, combustibles):

Almacenamiento de gas natural licuado.

Almacenamiento de combustible para ser usado en el sistema de calefacción.

Almacenamiento en estaciones de servicio de combustibles.

Almacenamiento estratégico de combustibles líquidos.

2.2. TANQUES CONVENCIONALES SUPERFICIALES

Los tanques convencionales superficiales se han usado durante mucho tiempo en las plantas de distribución de combustibles y ha sido una tecnología probada a nivel mundial para el almacenamiento de combustible, a continuación se muestran sus características:

2.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento convencionales

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

Tanques cilíndricos horizontales: generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños. (Ditech estudios y proyectos, 2011).

Tanques cilíndricos verticales de fondo plano: permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas. (Ditech estudios y proyectos, 2011).

Estos tipos de tanques se clasifican en: de techo fijo, de techo flotante, sin techo.

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo Venezuela, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "A.P.I. STANDAR 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica. El estándar A.P.I. 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración. (Ditech estudios y proyectos, 2011).

2.2.2. Tipos de techos

De acuerdo al estándar A.P.I. 650, los tanques se clasifican de acuerdo al tipo de techo, lo que proporcionará el servicio recomendable para éstos.

Techo Fijo: Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso. Los techos fijos se clasifican en: autoportados y soportados.

Techo Flotante: Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general.

Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.

Estos tanques son fabricados con planchas de acero al carbono se pueden observar en la figuras N°4 y N°5.



Figura N°4. Tanque de Acero Convencionales (Techo Fijo).



Figura N°5. Tanque de Acero Convencionales (Techo Flotante).

2.2.3. Boquillas en tanques de almacenamiento

Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de boquillas, las que a continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento.(A.P.I. STANDARD 650, 2007).

- a.- Entrada (s) de producto (s).
- b.- Salida (s) de producto (s).
- c.- Drene (con o sin sumidero).
- d.- Venteo (s).
- e.- Entrada (s) de hombre.
- f.- Conexiones para indicador y/o control de nivel.

2.2.4. Complejidad del manejo producto fuera de especificación

Siempre que se utilice el poliducto como vehículo de transporte de varios grados de productos, necesariamente existirá una interfase donde dos grados de combustibles se mezclen. El caso más crítico de la nueva planta de distribución para el oeste de Caracas es cuando el diesel entra en contacto con la gasolina en cualquiera de sus dos grados. El volumen de la interfase debe enviarse a un tanque destinado para producto fuera de especificación y posteriormente ser dosificado en una proporción que no afecte la calidad de la gasolina de 91 octanos. Como la proporción máxima permitida es el 2% del volumen del tanque de gasolina de 91 octanos, la operación se ve dificultada en aquella tecnología que involucre la mayor cantidad de tanques con el menor volumen de almacenamiento individual.

2.3. SIMULACIONES EN PIPEPHASE Y PRO II

Los simuladores hoy en día se han convertido en una herramienta muy útil y gracias a ellos se han podido hacer simulaciones de procesos que permiten tener una idea del valor de la variable que se busca y si está en el rango requerido, gracias a ellos se han podido obtener valores semillas que son muy cercanos al valor real de la variable. (Introduction to Pipephase,1996-1997).

En este Trabajo especial de Grado se utilizó el simulador Pipephase, el cual contribuyó a realizar los cálculos hidráulicos relacionados con el nuevo poliducto que servirá de medio de transporte al combustible que vendrá desde la nueva planta de distribución de Catia La Mar hasta la nueva planta de distribución y almacenamiento para el oeste de la gran Caracas. Partiendo del flujo volumétrico de diseño, de la presión de llegada en planta oeste fijada en 30 Psig y de las propiedades fisicoquímicas de los productos a ser transportados halladas en la bibliografía, se pudo iterar y obtener la presión de descarga de las bombas ubicada en Catia la Mar, cumpliendo las normas (PDVSA LT-P-1.5: Cálculo hidráulico de tuberías).

De igual forma, el programa Pipephase permitió modelar rigurosamente el fluido a lo largo de la ruta más idónea para su construcción y ver cuál diámetro se adaptaba de mejor forma a los requerimientos del proceso.

Otro simulador utilizado fue el Pro II, este simulador permite obtener las propiedades fisicoquímicas de los fluidos, en este trabajo, se pudo obtener las propiedades físico-químicas del combustible (diesel, gasolina de alto y medio octanaje) y verificar que tanto se aleja de los usados de la bibliografía. Además de permitir obtener la potencia de las bombas de suministro de combustible a través del poliducto.

2.4. BOMBAS

Las bombas dinámicas, como lo son las centrífugas que se usaran en este Trabajo Especial de Grado, son aquellas en que se aplica energía al líquido que se bombea con un impulsor o hélice que gira en su eje. La energía de velocidad aplicada al fluido por el impulsor se convierte en energía de presión cuando el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de una voluta o carcasa de difusor estacionarias. Por

supuesto, cuando hay mayor velocidad, que se puede obtener con una velocidad de rotación más alta, un impulsor de mayor diámetro o ambas cosas, se puede lograr una carga más elevada, que es el caso que se presenta en esta oportunidad, debido a que se requiere desplazar una gran cantidad de combustible desde la nueva planta de Catia la Mar hasta la planta oeste, por lo que es necesario unas bombas que manejen un caudal considerable para satisfacer la demanda del mercado. Por lo que es necesario seleccionar una bomba que sea la mejor o más adecuada para el servicio, luego de que se haga un análisis hidráulico adecuado del sistema en el que se va utilizar la bomba.

2.4.1. Carga neta positiva de succión

Todas las bombas requieren determinada carga neta positiva de succión NPSH, para permitir que el líquido fluya a la carcasa de la bomba. Este valor lo determina el diseñador de bombas y se basa en la velocidad de rotación, la superficie de admisión o del ojo del impulsor en una bomba centrífuga, el tipo y número de álabes en el impulsor, etc. Cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente NPSH disponible en el sistema en que va funcionar, se reducirá su capacidad a menos de la de diseño. Dicho en otra forma, en el punto de capacidad requerida la bomba producirá, menos carga que la calculada. Este fenómeno se llama cavitación y lo ocasionan las pérdidas excesivas de NPSH en la entrada del impulsor de la bomba. Con ello, se producen burbujas de vapores en el líquido, que se aplastan con rapidez y liberan energía que ataca los álabes o el alojamiento del impulso. Aunque la cavitación en sí no significa un desperfecto en la bomba, pues la bomba puede funcionar de vez en cuando con cavitación, con mínimos daños, no se la debe permitir en un buen diseño del sistema de bombeo. Al efectuar el estudio hidráulico, se debe tener suficiente NPSH disponible para la bomba, mediante el conocimiento de las características del líquido bombeado y la ubicación física de la bomba. (McNaughton, Kenneth, 1974).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se muestra la metodología seguida para la realización del presente Trabajo Especial de Grado, a fin de cumplir con los objetivos propuestos.

Para este Trabajo Especial de Grado se empleó la Guía de Gerencia para Proyectos de Inversión Capital (GGPIC), utilizada para seguir los pasos para la buena ejecución de un proyecto. El modelo establecido por la GGPIC está basado en las cinco siguientes fases: Visualización, Conceptualización, Definir, Implantar y Operar (Mayol,1999).

En este proyecto se parte de la Visualización realizada por la consultora Geohidra Consultores C.A (2008), y se pretende establecer con este insumo de trabajo el desarrollo del estudio de factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el Oeste de Caracas, como parte de la fase de Ingeniería Conceptual.

3.1. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA QUE MEJOR SE ADECUE PARA LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y DIESEL

El propósito de la Ingeniería Conceptual es la selección de la mejor opción en cuanto a la optimización de espacios destinados a los tanques de combustible y además mejorar la precisión de los estimados de costos y tiempo de implantación. Es por ello que entre las actividades principales está la evaluación y selección de la tecnología que mejor se adapte a los requerimientos y limitaciones de área para la implantación de la Planta Oeste, con el fin de asegurar su máxima rentabilidad, reducir riesgos tecnológicos (bajos rendimientos y/o recobros, alto consumo energético, obsolescencia prematura, imprevistos, impactos negativos al medio ambiente, entre otros).

Se estudiaron varias posibilidades para el diseño de los tanques, entre las cuales estuvieron: usar tanques enterrados hechos de fibra de vidrio, ya que posiblemente ocuparían menor espacio, la tecnología de tanques de acero enterrados, que es la más antigua, utilizada para el almacenamiento de combustible en las estaciones de

servicio y la última opción analizada en la matriz de selección de tecnología de almacenamiento de combustible fue usar tanques de acero convencionales.

La forma de evaluar dicha tecnología fue mediante una matriz multi-criterios y los puntos a considerar fueron principalmente: el área que ocuparían los tanques con cada una de las tecnologías, los costos que traería su implementación y los beneficios que traería para el ambiente su uso.

Para determinar la tecnología fue necesario conformar un equipo de evaluación de la tecnología, el cual incluyó ingenieros de distintas disciplinas (procesos, mecánicos, operaciones, civil, Seguridad, Higiene y Ambiente) de dos empresas consultoras (Ditech Estudios y Proyectos y PDI Gerencia e Ingeniería) encargadas del proyecto. Ellos fueron consultados sobre las distintas tecnologías propuestas para el almacenamiento de combustible mediante una encuesta, que luego fue evaluada para realizar la matriz de selección de tecnología considerando las distintas opciones, y en conjunto con el grupo de especialistas, se propuso la mejor opción tecnológica para el Proyecto Nueva Planta Oeste.

3.1.1. Búsqueda de la información

La selección de tecnologías del proyecto siguió el siguiente procedimiento, en donde los aspectos principales considerados en la selección de tecnología se muestran en la figura N°6 fueron:

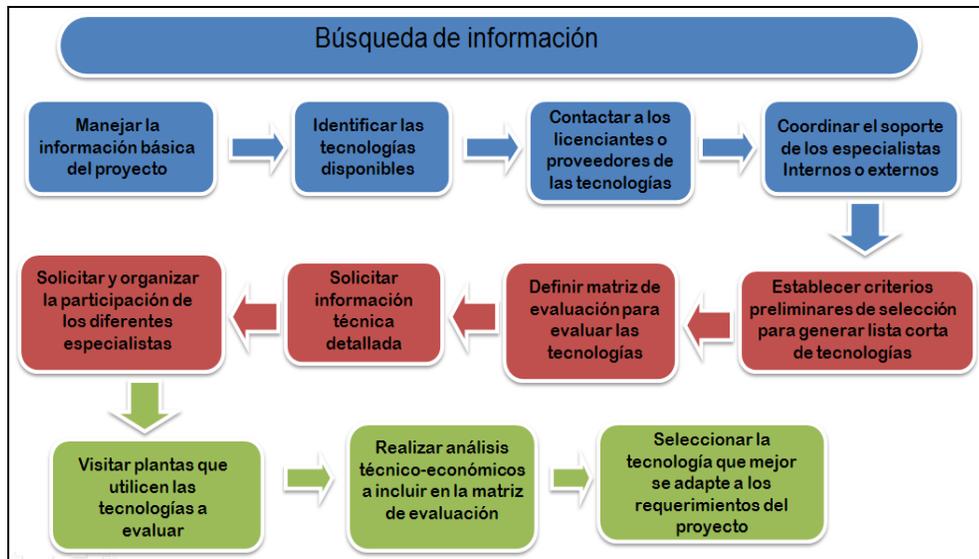


Figura N°6. Pasos para la búsqueda de información de la tecnología que mejor se adecue a los tanques de almacenamiento de combustible.

3.1.2. Matriz de evaluación de tecnología

Para determinar la tecnología de almacenamiento de combustibles más adecuada se realizó una matriz multi-criterios y utilizando el método de Ponderación Lineal (Scoring).

Descripción de los criterios utilizados en la matriz

La matriz debe contener los criterios preliminares de selección a los cuales se le ha asignado un puntaje y peso por categoría “cumple/no cumple” de acuerdo a la importancia de los mismos en el Proyecto Planta Oeste. (PDVSA, N° SCIP-MP-G-08-P. 1983).

Se establecieron criterios preliminares de selección para generar una lista de tecnologías. Estos criterios de selección se determinaron de acuerdo a los requerimientos específicos y obligatorios del proyecto Planta Oeste. Los criterios incluidos fueron: General, Instrumentación, Ambiente, Seguridad, Costos, Mecánicos, Filosofía de control, Constructibilidad, Operatibilidad, Equipos asociados requeridos.

Todos deben cumplir con requerimientos obligatorios, en este caso, existe una limitante de espacio para la construcción de los tanques de almacenamiento y distribución de gasolina y diesel.

Las diferentes variables a ser evaluadas para cada criterio general se muestran en la Tabla N° 1:

Tabla N°1: Criterios Evaluados para las Tecnologías de Almacenamiento

Item	(Criterios Generales)	Variables
01	General	Tecnología implementada para una P/D y almacenamiento de combustible, tecnología probada, tecnología novedosa, grado de comercialización, complejidad de la tecnología, instalaciones en operación, resultados de operación, deficiencias presentadas.
02	Instrumentación	Medidores de nivel, medidores de temperatura, medidores de agua libre.
03	Ambiente	Afectación a terceros, afectación al suelo, afectación al paisaje, afectación aire, afectación a cuerpos de aguas.
04	Seguridad	Vulnerabilidad a incendios y explosión, frecuencia de los accidentes.

Tabla N°1: Criterios Evaluados para las Tecnologías de Almacenamiento (Continuación)

Item	(Criterios Generales)	Variables
05	Costos	Costos de implementación, fábricas que construyan los tanques en el país, costos de mantenimiento, costos de inversión.
06	Mecánicos	Confiabilidad desde el punto de vista mecánico, factibilidad de mantenimiento de los equipos mecánicos.
07	Filosofía de control	Facilidad que existe para calibración/recalibración de condiciones operacionales.
08	Constructibilidad	Área superficial requerida, tiempo de instalación, tiempo de construcción de los tanques.
09	Operatibilidad	Mano de obra especializada, detección de fugas, ofrece el fabricante la instalación de los servicios básicos requeridos, tecnología para el almacenamiento de combustible que puede operar con mayor eficiencia.
10	Equipos asociados requeridos	Bombas de succión, bombas de carga, válvulas.

Una descripción detallada de los variables que componen los cada uno de los criterios mostradas en la Tabla N° 1 se presenta en el Apéndice A.

A continuación en la Tabla N° 2 se presenta un bosquejo de la estructura de la matriz de evaluación de tecnología:

Tabla N°2. Matriz Multicriterio de selección de opciones (rij: rating de cada alternativa j en función del criterio i).

Criterios Generales	Contenido	Tanques superficiales	Tanques de fibra de vidrio	Tanques de acero enterrados
General	Tecnología de implementación para plantas de distribución y almacenamiento de combustible.			
	Tecnología probada			
	Tecnología novedosa			
	Grado de comercialización			
	Complejidad de la tecnología			
	Instalaciones en operación			
	Resultados de las instalaciones en operación			
Instrumentación	Deficiencias presentadas			
	Medidores de nivel			
Ambiente	Medidores de temperatura			
	Medidores de agua libre			
	Afectación a terceros			
	Afectación Suelo			
	Afectación paisaje			
Seguridad	Afectación Aire			
	Afectación de aguas			
	Vulnerabilidad a incendios y explosión			
Costos	Frecuencias de los accidentes			
	Costos de implementación			
	Fábricas que construyan los tanques en el país			
	Costos de mantenimiento			
Mecánicos	Costos de inversión			
	Confibilidad desde el punto de vista mecánico			
Filosofía de control	Facilidad de mantenimiento de equipos mecánicos			
Constructibilidad	Facilidad que existe para calibración/recalibración de condiciones operacionales			
	Área superficial requerida			
	Tiempo de instalación			
Operatibilidad	Tiempo de construcción de los tanques			
	Mano de obra especializada			
	Detección de fugas			
	Ofrece el fabricante la instalación de los servicios básicos requeridos			
Equipos asociados requeridos	Tecnología para almacenamiento de combustible que puede operar con mayor eficiencia			
	Bombas de succión			
	Bombas de carga			
	Válvulas			

Método de Ponderación Lineal (Scoring)

El método de ponderación lineal o método de Scoring es una manera rápida y sencilla utilizada ampliamente en el mundo para identificar la alternativa preferible en el problema de decisión multicriterio. Es un método que permite afrontar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información, mediante la construcción de una función de valor para cada una de las alternativas. Es un método compensatorio y puede resultar dependiente y manipulable de la asignación de pesos a los criterios o de la escala de medida de las evaluaciones. (PDVSA N° SCIP-MP-G-08-P. 1983).

A continuación se presentan las etapas del método de ponderación lineal y su aplicación para el caso en estudio:

- **Identificar la Meta General del Problema.** Seleccionar la tecnología más adecuada para la finalidad del proyecto.
- **Identificar las Alternativas.** Tanques enterrados construidos con fibra de vidrio, tanques superficiales convencionales construidos con acero al carbono y tanques de acero enterrados.
- **Listar los criterios a emplear en la toma de decisión.** La descripción de los criterios a emplear para la selección de la tecnología se mostró en Tabla N° 1 presentada anteriormente.
- **Asignar una ponderación (w_i , %) para cada uno de los criterios.** Se realizó una ponderación para cada criterio por cada una de las disciplinas involucradas: Civil, Mecánica, Procesos, Electricidad, Instrumentación, Ambiente, Social, Seguridad y Tuberías, utilizando una escala de valores de 5 puntos (0 al 4) como se indica a continuación y posteriormente se determinó la ponderación de cada criterio como promedio de los anteriores.

Escala de valores: 0 - 4

00 - No Importante

01 - Importancia Leve

02- Mediana Importancia

03- Importante

04 - Muy Importante

- **Establecer en cuanto satisface (*rating* de satisfacción, r_{ij}) cada alternativa a nivel de cada uno de los Criterios.** Se evaluó el grado de satisfacción de cada alternativa para cada criterio mediante una encuesta realizada al equipo multidisciplinario de especialistas, utilizando una escala de valores de 3 puntos (1 al 3) como se indica a continuación y posteriormente se determinó la ponderación de cada criterio como promedio de los anteriores.

Escala de valores: 1 - 3

01- Desfavorable

02- Medianamente Favorable

03- Favorable

- **Calcular el *Score* para cada una de las Alternativas,** mediante la siguiente expresión:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

r_{ij} = rating de la alternativa j en función del Criterio i

w_i = Ponderación para cada Criterio i

S_j = Score para la Alternativa j

- **La Alternativa con el *Score* más alto representa la alternativa a recomendar.**

En la tabla N° 3 se presenta la matriz multicriterios de selección de opciones del presente proyecto, donde las opciones de almacenamiento de combustibles a evaluar son las siguientes:

- Opción N° 1: Tanques superficiales convencionales de acero al carbono.
- Opción N° 2: Tanques fibra de Vidrio.
- Opción N° 3: Tanques de acero enterrados.

Tabla N°3. Matriz Multicriterio de selección de opciones

Criterios Generales	Contenido	Ponderación (Wi)	Opción n°1 (Ri-1)	Wi x Ri-1	Opción n°2 (Ri-2)	Wi x Ri-2	Opción n°3 (Ri-3)	Wi x Ri-3
General	Tecnología de implementación para plantas de distribución y almacenamiento de combustible.							
	Tecnología probada							
	Tecnología novedosa							
	Grado de comercialización							
	Complejidad de la tecnología							
	Instalaciones en operación							
	Resultados de operación							
Instrumentación	Deficiencias presentadas							
	Medidores de nivel							
	Medidores de temperatura							
Ambiente	Medidores de agua libre							
	Afectación a terceros							
	Afectación Suelo							
	Afectación paisaje							
Seguridad	Afectación Aire							
	Afectación de aguas							
	Vulnerabilidad a incendios y explosión							
Costos	Frecuencias de los accidentes							
	Costos de implementación							
	Fábricas que construyan los tanques en el país							
	Costos de mantenimiento							
Mecánicos	Costos de inversión							
	Confibilidad desde el punto de vista mecánico							
Filosofía de control	Facilidad de mantenimiento de equipos mecánicos							
Constructibilidad	Facilidad que existe para calibración/recalibración de condiciones operacionales							
	Área superficial requerida							
	Tiempo de instalación							
Operatibilidad	Tiempo de construcción de los tanques							
	Mano de obra especializada							
	Detección de fugas							
	Ofrece el fabricante la instalación de los servicios básicos requeridos							
Equipos asociados requeridos	Tecnología para almacenamiento de combustible que puede operar con mayor eficiencia							
	Bombas de succión							
	Bombas de carga							
	Válvulas							
	SUMA							
	Puntaje (Sj)							

En base a la ponderación alcanzada por cada tecnología en la matriz, se establece las recomendaciones sobre la conveniencia de una tecnología sobre la otra para la Nueva Planta de Distribución de Combustibles del Oeste de Caracas.

3.2. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y DIESEL.

El dimensionamiento de los tanques de almacenamiento y distribución de gasolina y diesel dependió de la tecnología arrojada a través de la matriz de selección, en la cual se tomó como escenario planta Guatire sin despacho, la demanda del año de diseño proyectada al 2030 y un tiempo de vida útil de al menos 20 años.

Apoyados en la “API STANDARD 650” fueron seleccionados directamente de una tabla los tanques de almacenamiento que se adaptaban a las exigencias del proyecto, los cuales serán abastecidos a través del envío constante de combustible y diesel por medio de un poliducto desde la planta de Catia la Mar hasta la planta oeste, lo cual permitirá satisfacer a partir del año 2016 la demanda exigida. Se usó como referencia para el diseño de tanques convencionales el criterio de mini plantas en la cual los tanques de acero son de menor tamaño, debido a la limitación de espacio existente.

3.3. SIMULACIÓN DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA LA PLANTA OESTE.

La consultora Ditech Estudios y Proyectos realizó un estudio de todas las posibles rutas por las cuales podía pasar el poliducto y obtuvo una ruta idónea para su implantación que se adecua y cumple con las condiciones más favorables para su construcción. Partiendo de esta ruta se procedió a simular el poliducto usando el software Pipephase versión 9.1 de SIMSCI para conocer el comportamiento hidráulico del sistema. La metodología empleada en este estudio, estuvo enfocada en determinar el perfil de presión del poliducto considerando la capacidad de diseño y tomando en consideración las características físico-químicas (temperatura, presión, viscosidad, etc) de los productos que serán transportados (gasolina de 95 y 91 octanos y diesel) por el poliducto el cual tendrá una longitud de aproximadamente 3773,08 m.

Para tal fin, se construyó un modelo hidráulico de transporte de combustible, el cual consideró la ubicación de la nueva planta de Catia la Mar y el patio de tanques de almacenamiento de combustible, así como el perfil topográfico de la ruta del poliducto, se despreciaron las especificaciones a nivel de accesorios a colocar en el poliducto, ya que las pérdidas producidas son despreciables en comparación a las pérdidas por fricción y elevación.

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación hidráulica, se procedió a determinar si los valores de velocidad y caída de presión y que estos estuviesen dentro de los límites establecidos en los criterios de diseños.

Luego con el software PRO/II versión 8.1 se verificaron las propiedades fisicoquímicas (temperatura, presión, viscosidad, peso específico, entre otras) de los productos a transportar (diesel, gasolina de 95 y 91 octanos) a través de todo el poliducto para así comparar con los valores teóricos.

3.4. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA PLANTA OESTE.

Para establecer el sistema de bombeo del poliducto desde la nueva planta de Catia la Mar hasta el patio de tanques de la planta oeste, para los distintos productos derivados de los hidrocarburos (diesel, gasolina de alto y medio octanaje) se usó el simulador PRO II, el cual arrojó como dato inicial la potencia que es necesaria suministrar por las bombas desde la planta de Catia la Mar. Dicho valor se usó para estimar el número de bombas y la potencia necesarias por cada una de ellas, además de realizar los cálculos necesarios para su especificación considerando el tipo de bomba, el NPSHd, presión de descarga y temperaturas de operación, caudal nominal de operación y el caudal de diseño.

En la tabla N° 4 se presentan los parámetros de entrada usados para la realización de la hoja de cálculo para el dimensionamiento de las bombas centrífugas.

Tabla N° 4.Datos suministrados a la hoja de cálculo para el diseño de las bombas centrífugas.

Variable	Bombas Centrífugas
Caudal de diseño (BPD)	44.660
Nivel de operación del recipiente (ft)	41,3
Presión del recipiente de descarga (Psig)	30
% Eficiencia (adimensional)	90
Longitud del tramo de succión (m)	700
Longitud del tramo de descarga (m)	3773,08

3.4.1. Dimensionamiento de tuberías.

Para el dimensionamiento de tuberías se realiza una iteración variando el diámetro de la tubería hasta cumplir el criterio de velocidad y caída de presión para succión de bomba con líquido no hirviendo, establecido en la norma PDVSA L-TP 1.5.

3.5. GENERACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DE INGENIERÍA QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA EL OESTE DE LA GRAN CARACAS

Para describir el proceso y la filosofía de control de la planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de la gran Caracas fue necesario realizar los diagramas de flujo de proceso (DFP) y los diagramas de tubería e instrumentación (DTI) con el fin de dar una idea de cómo operará la planta. Además se presenta un listado de los equipos necesarios en la planta oeste y las normas que fueron necesarias utilizar en este Trabajo Especial de Grado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen y discuten los resultados obtenidos durante el desarrollo de los objetivos específicos propuestos para este Trabajo Especial de Grado, de acuerdo a la metodología definida.

4.1. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

La planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de la Gran Caracas tendrá una capacidad total de 335MBD. La misma está diseñada para que tenga almacenado $1/3$ de la capacidad total aproximadamente y el restante $2/3$ estará almacenado en la planta nodriza de Catia La Mar, se diseñó a capacidad instalada de 135MB siguiendo la base de mini-plantas, en la cual se maneja un rango entre 80 y 240 MB. Los restantes 200MB estarán almacenados en la planta de distribución de Catia La Mar. La demanda de combustible estimada para el periodo 2016-2030 en caso de contingencia es de 76.370BPD y será la utilizada para el diseño de los tanques de almacenamiento, distribuida de la siguiente manera: gasolina de 95 octanos 47.050BPD, gasolina de 91 octanos 11.200BPD el cual será usado principalmente como combustible del parque automotor. El diesel por su parte tiene una demanda de 18.120BPD, el cual tiene dos usos: automotor e industrial. Es importante mencionar que no se está considerando para el diseño de los tanques de diesel, utilizarlo para generación de plantas termoeléctricas.

Después de haber hecho una revisión bibliográfica sobre las posibles opciones de almacenamiento de combustible, se decidió descartar la opción de los tanques de acero enterrados en la matriz de selección de tecnología, debido a que están siendo reemplazados en el mercado por los tanques de fibra de vidrio en casi todas las estaciones de servicio, debido a que presentaron problemas de corrosión ocasionando herrumbre y daños ambientales. Es por este motivo que se realizó la comparación entre sólo dos tecnologías: tanques enterrados construidos de fibra de vidrio y tanques de acero convencionales.

Para comparar cual de las dos tecnologías ocupaba menor área, se realizó un arreglo de tanques convencionales de acero al carbono que puede observarse en el

apéndice B tomando en cuenta las capacidades descritas en la Tabla N° 5 . El área total requerida para los tanques de almacenamiento convencionales de acuerdo al arreglo propuesto es 4,2 Ha.

Donde el área que ocupa cada tanque está distribuido de la siguiente forma: 2 tanques de gasolina de 95 octanos ocupan un área de 530 m² cada uno, 2 tanques de gasolina de 91 octanos ocupan un área de 170 m² cada uno, se supuso que el tanque de combustible fuera de especificación ocupa un área de 85 m² debido a que almacena la mitad de lo que contiene un tanque de gasolina de 91 octanos y 2 tanques de diesel que ocupan un área 200m² cada uno.

En el arreglo propuesto mostrado en el apéndice B (figura B.1), se colocaron los 2 tanques del mismo producto en un mismo dique y se colocó el tanque de producto fuera de especificación en un dique particular. Para estimar el área que ocupa los diques se usó las normas PDVSA AG-211-PRT y la 0602.1.472 de diques de tierra para tanques de almacenamiento y se obtuvo el siguiente dimensionamiento: para los dos tanques de gasolina de 95 octanos el dique ocupa un área de 9000 m², para los dos tanques de gasolina de 91 octanos ocupa un área de 2466 m² y para los tanques de combustible de diesel ocupa un área de 3150 m² y el dique de contención del producto fuera de especificación ocupa un área de 1141,2 m², a esto todo esto hay que sumarle que por cada dique debe tener una vía de acceso para los vehículos que realizan periódicamente el mantenimiento, el personal que realiza el control diario del patio de tanques, al igual que para el paso de ambulancias o camión de bombero en caso de algún incendio en el lugar. También se incluye en el plano de implantación de equipos (*plot plan*) el área de bombas que llevan el fluido desde los tanques hasta el llenadero. Todo esto sumado da un área total aproximada de 4,2 Ha.

Tabla N° 5: Capacidades de los Tanques de Almacenamiento Superficiales.

Producto	Capacidad Tanque (Barriles)	Cantidad de Tanques	Capacidad Total (Barriles)
Gasolina 95 Octanos	40.000	2	80.000
Gasolina 91 Octanos	10.000	2	20.000
Diesel	15.000	2	30.000
Producto Fuera de Especificación	5.000	1	5.000
Total			135.000

Con el fin de comparar el área requerida por los tanques convencionales y sus respectivos diques de contención con respecto al área requerida por los tanques enterrados de fibra de vidrio, se realizó un *plot plan* (ver apéndice B) preliminar de tanques enterrados de fibra de vidrio, tomando en consideración las siguientes premisas:

- Capacidad de almacenamiento tanque individual: 100.000 l
- Longitud del tanque: 14,35 m
- Diámetro del tanque: 10 pies = 3,05 m
- Separación entre tanques: 3 m
- Separación entre hileras de tanques: 15 m

La capacidad de almacenamiento, la longitud y el diámetro fueron extraídos de un catálogo suministrado por el fabricante de tanques de fibra de vidrio “Xerxes”, mientras que la separaciones de los tanques (entre tanque y tanque y entre hileras) fueron fijadas considerando que hubiese suficiente espacio para el caso que se necesite reparar o sustituir algunos de los tanques de presentarse alguna fuga o inconveniente.

En la tabla N° 6 se indica la cantidad de tanques de fibra de vidrio equivalentes necesarios para almacenar los combustibles a manejar.

Tabla N° 6: Cantidad de Tanques de Fibra de Vidrio requeridos.

Producto	Capacidad Total (Barriles)	Capacidad Total (Litros)	Cantidad de Tanques requeridos	Cantidad Total de Tanques requeridos
Gasolina 95 Octanos	80.000	12.720.000	127,20	128
Gasolina 91 Octanos	20.000	3.180.000	31,80	32
Diesel	30.000	4.770.000	47,70	48
Producto Fuera de Especificación	5.000	795.000	7,95	8
			Total	216

En la tabla N° 6, se puede observar que la cantidad de tanques enterrados de fibra de vidrio que se requerirían para almacenar los combustibles de la planta serían 216.

En el apéndice B (figura B.2), se muestra una propuesta de un plano de implantación de equipos (*plot plan*) para tanques de almacenamiento enterrados del tipo fibra de vidrio. El área requerida para el almacenamiento de combustibles con la tecnología de tanques enterrados es aproximadamente **3,5 Ha.**

Hay que destacar que se puede reducir aún más la separación entre tanques y la separación entre hileras de tanques, ya que no existe norma que restrinja esta distancia de separación.

En la tabla N° 7 se presentan los resultados de la matriz de evaluación de tecnología, en donde las opciones a evaluar son:

- Opción N° 1: Tanques superficiales convencionales de acero al carbono.
- Opción N° 2: Tanques fibra de vidrio.

Tabla N° 7. Matriz Multicriterio de selección de opciones (rij: rating de cada alternativa j en función del criterio i)

Criterios Generales	Contenido	Tanques superficiales	Tanques de fibra de vidrio
General	Tecnología de implementación para plantas de distribución y almacenamiento de combustible	3	1
	Tecnología probada	3	1
	Tecnología novedosa	1	2
	Grado de comercialización	3	1
	Complejidad de la tecnología	3	1
	Instalaciones en operación	3	1
	Resultados de las instalaciones en operación	3	1
	Deficiencias presentadas	2	1
Instrumentación	Medidores de nivel	3	2
	Medidores de temperatura	3	2
	Medidores de agua libre	3	2
Ambiente	Afectación a terceros	3	1
	Afectación Suelo	3	2
	Afectación paisaje	2	3
	Afectación Aire	2	2
	Afectación de aguas	2	1
Seguridad	Vulnerabilidad a incendios y explosión	2	3
	Frecuencias de los accidentes	2	2
Costos	Costos de implementación	3	1
	Fábricas que construyan los tanques en el país	3	3
	Costos de mantenimiento	2	2
	Costos de inversión	3	2
Mecánicos	Confibilidad desde el punto de vista mecánico	3	2
	Facilidad de mantenimiento de equipos mecánicos	3	1
Filosofía de control	Facilidad que existe para calibración/recalibración de condiciones operacionales	3	1
Constructibilidad	Área superficial requerida	2	3
	Tiempo de instalación	3	3
	Tiempo de construcción de los tanques	3	2
Operabilidad	Mano de obra especializada	2	2
	Detección de fugas	3	1
	Ofrece el fabricante la instalación de los servicios básicos requeridos	3	3
	Tecnología para almacenamiento de combustible que puede operar con mayor eficiencia	3	1
Equipos asociados requeridos	Bombas de succión	3	1
	Bombas de carga	3	3
	Válvulas	2	2

Tabla N° 8. Matriz Multicriterio de selección de opciones.

Crterios Generales	Contenido	Ponderación (Wi)	Opción n°1 (Ri-1)	Wi x Ri-1	Opción n°2 (Ri-2)	Wi x Ri-2
General	Tecnología de implementación para plantas de distribución y almacenamiento de combustible.	3	3	9,0	1	3,0
	Tecnología probada	2	3	6,0	1	2,0
	Tecnología novedosa	2	1	2,0	2	4,0
	Grado de comercialización	3	3	9,0	1	3,0
	Complejidad de la tecnología	3	3	9,0	1	3,0
	Instalaciones en operación	3	3	9,0	1	3,0
	Resultados de operación	3	3	9,0	1	3,0
	Deficiencias presentadas	3	2	6,0	1	3,0
Instrumentación	Medidores de nivel	2	3	6,0	2	4,0
	Medidores de temperatura	2	3	6,0	2	4,0
	Medidores de agua libre	2	3	6,0	2	4,0
Ambiente	Afectación a terceros	4	3	12,0	1	4,0
	Afectación Suelo	4	3	12,0	2	8,0
	Afectación paisaje	2	2	4,0	3	6,0
	Afectación Aire	2	2	4,0	2	4,0
	Afectación de aguas	4	2	8,0	1	4,0
Seguridad	Vulnerabilidad a incendios y explosión	2	2	4,0	3	6,0
	Frecuencias de los accidentes	2	2	4,0	2	4,0
Costos	Costos de implementación	4	3	12,0	1	4,0
	Fábricas que construyan los tanques en el país	2	3	6,0	3	6,0
	Costos de mantenimiento	3	2	6,0	2	6,0
	Costos de inversión	3	3	9,0	2	6,0
Mecánicos	Confibilidad desde el punto de vista mecánico	3	3	9,0	2	6,0
	Facilidad de mantenimiento de equipos mecánicos	3	3	9,0	1	3,0
Filosofía de control	Facilidad que existe para calibración/recalibración de condiciones operacionales	2	3	6,0	1	2,0
Constructibilidad	Área superficial requerida	4	2	8,0	3	12,0
	Tiempo de instalación	3	3	9,0	3	9,0
	Tiempo de construcción de los tanques	3	3	9,0	2	6,0
Operatibilidad	Mano de obra especializada	3	2	6,0	2	6,0
	Detección de fugas	3	3	9,0	1	3,0
	Ofrece el fabricante la instalación de los servicios básicos requeridos	3	3	9,0	3	9,0
	Tecnología para almacenamiento de combustible que puede operar con mayor eficiencia	4	3	12,0	1	4,0
Equipos asociados requeridos	Bombas de succión	3	3	9,0	1	3,0
	Bombas de carga	3	3	9,0	3	9,0
	Válvulas	3	2	6,0	2	6,0
	SUMA	100				
	Puntaje (Sj)			268,0		172,0

En la tabla N° 7 se pueden observar el rating que tiene cada criterio en la matriz y en la tabla N° 8 el resultado arrojado por la matriz utilizada para evaluar las dos tecnologías: tanques convencionales superficiales construidos con acero al carbono (**opción 1**) y tanques enterrados elaborados a base de fibra de vidrio (**opción 2**). De acuerdo a la causa principal de esta matriz de evaluación de tecnología, mediante una encuesta se consultó la opinión de un grupo multidisciplinario de PDVSA y de la consultora, donde se asignaron los porcentajes de los criterios quedando establecida de la siguiente manera de acuerdo a su orden de importancia:

- Generales 22%
- Aspectos ambientales 16%
- Operabilidad 13%
- Costos 12%
- Constructibilidad 10%
- Equipos asociados requeridos 9%
- Instrumentación 6%
- Aspectos mecánicos 6%
- Seguridad 4%
- Filosofía de control 2%

En la tabla N° 8, se puede observar que la opción que resultó favorecida luego de la encuesta multidisciplinaria realizada al personal que labora en el proyecto, de las variables que componen los criterios de la matriz de evaluación de tecnología es la de tanques superficiales convencionales (**opción 1**), con un puntaje total de **268** vs. un puntaje de **172** para la opción de los tanques enterrados de fibra de vidrio (**opción 2**).

Un aspecto importante a tomar en cuenta, que resultó de la consulta interdisciplinaria de las dos opciones de almacenamiento, es que la de tanques enterrados (fibra de vidrio) requieren una considerable cantidad de equipos asociados. En vista que su uso principal es para almacenar combustible en estaciones de servicio y no para ser utilizados en plantas de distribución, la capacidad de bombeo de las bombas verticales que utiliza es muy limitada y se hace insuficiente para satisfacer el llenado de un camión cisterna de 38.000 litros

a la velocidad que se requiere para poder cumplir con la demanda diaria de combustible para el oeste de Caracas. Este estudio permitirá abrir las puertas para buscar soluciones si se quisiera en un futuro implementar esta tecnología, para futuras plantas de distribución de combustibles que tengan una menor demanda.

En caso de que la matriz de selección de tecnología hubiese favorecido a los tanques enterrados, sería necesario instalar tanques convencionales adicionales de aproximadamente 1.000 barriles de capacidad para ser utilizados como tanques “*buffer*” o de compensación, para poder cubrir la demanda exigida en caso de contingencia de la planta oeste. Estos tanques a su vez deberían tener asociadas varias bombas centrífugas de alta capacidad que permitan la carga de combustible en los camiones cisternas para el tiempo mínimo que sea establecido para su llenado.

Adicionalmente, en vista del limitado caudal que las bombas de los tanques enterrados son capaces de manejar, sería necesario contar con una bomba por cada tanque enterrado, lo cual haría más complicada y costosa la operación del sistema. Otro aspecto fundamental es el drenaje del agua libre asociada al hidrocarburo. En vista de que en los tanques enterrados no es posible realizarlo, porque no disponen de esas facilidades, se haría necesario efectuar el vaciado regular para remover sedimentos y agua libre depositada en el fondo. En contraste, los tanques superficiales poseen una gran flexibilidad para drenar el agua libre y sedimentos durante las condiciones normales de operación.

Al tener una capacidad significativamente reducida, es necesario contar con un mayor número de tanques enterrados de fibra de vidrio con respecto a los tanques convencionales. Esto trae como consecuencia un mayor reto al proceso de aforo y toma de muestras del combustible enviado a través del poliducto.

Por ejemplo, para la gasolina de 95 octanos que es el producto de mayor demanda, los 80.000 barriles a ser almacenados en dos tanques superficiales de 40.000 barriles cada uno, equivaldrían a 128 tanques de fibra de vidrio de 100.000 litros de capacidad cada uno. El manejo del número de muestras y el aforo manual harían extremadamente complicada la operación, tomando en cuenta que el tiempo de reposo es reducido y que la demanda de la planta exige agilidad en la certificación de los tanques antes de ser despachados a los camiones cisternas.

Adicionalmente, los tanques horizontales en forma de “salchicha” tienen una geometría variable a lo largo de la altura de líquido, por lo cual sería necesario realizar ajustes con cálculos adicionales. En los tanques superficiales por su parte, el proceso de aforo es mucho más sencillo.

En el apéndice B se puede observar una propuesta inicial de un *Plot Plan* preliminar donde se requerirían **3,5 Ha** para un eventual arreglo de los tanques enterrados de fibra de vidrio, mientras que los tanques convencionales, incluyendo sus diques de contención, ocuparían un área de **4,2 Ha**. Si bien el área es menor para el caso de los tanques enterrados, no significa una disminución sustancial de la superficie requerida por este tipo de tecnología en comparación con los tanques convencionales superficiales de acero al carbono. En la tabla N° 9 se muestran las ventajas y desventajas sobre el uso de ambos tipos de tecnología:

Tabla N° 9: Tabla Comparativa entre Tecnologías

Tipo de Tanque	Ventajas	Desventajas
<p>Tanque convencionales de Acero al Carbono</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología probada a nivel mundial y en Venezuela en plantas de distribución de combustibles. • Numerosos proveedores en el mercado. • Facilidad para la detección de fugas y derrames. • Facilidad para el aforo y control de nivel. • Facilidad para la toma de muestras. • Mayor agilidad en las operaciones de recibo y despacho. • No requiere de equipos adicionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una mayor área superficial. • El acero al carbon es más susceptible a la corrosión.
<p>Tanques enterrados de Fibra de Vidrio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser configurados con diferentes tipos de arreglos a nivel de layout. • No requieren diques de contención. • No presentan problemas de corrosión. • Ocupan aproximadamente un 20% menos área superficial. • Estos tanques no pueden ser detectados por los radar de los aviones en el caso de presentarse conflictos bélicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor número de instrumentos asociados. • Requiere mayor número de equipos auxiliares. • Volumen variable con la altura dificulta el aforo. • Dificultad en la operación de recibo y suministro. • Mayor número de muestras para control de calidad. • Pocos proveedores a nivel mundial. • Requiere mano de obra especializada para su construcción. • Utilizados fundamentalmente en estaciones de servicio. • Dificultad para el manejo de producto fuera de especificación.

Finalmente se puede decir, que al no haber referencias para ser utilizados los tanques de fibra de vidrio en plantas de distribución donde se manejan volúmenes a granel en camiones cisternas, no representan una alternativa adecuada para el almacenamiento en una planta como la que se pretende construir en las cercanías del urbanismo conocido como “Ciudad Caribia” (Distrito Capital), los tanques enterrados de fibra de vidrio requieren una serie de equipos adicionales, tales como bombas de succión, tanques de compensación y bombas de transferencia al llenadero. Adicionalmente instrumentos asociados para el control de nivel y la dificultad para el manejo del producto fuera de especificación, hacen inviable este tipo de tecnologías para una planta de distribución de alta demanda como lo será la nueva Planta del Oeste de Caracas.

Por otra parte, existe el riesgo ambiental en caso de presentarme alguna fuga o rotura de tanques enterrados, ya que vería dificultada su detección temprana y en consecuencia se podrían ver afectados los cuerpos de agua cercanos.

4.2. BASES Y CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

A continuación se presentan las bases y criterios de diseño generales que se desarrollaron a lo largo de la evaluación técnica realizada en este Trabajo Especial de Grado.

4.2.1. Bases de diseño

- Los tanques fueron diseñados para almacenar la demanda de la gran Caracas en su totalidad, pero en condiciones normales abastecerá sólo a la zona oeste del distrito metropolitano.
- Se diseñó a capacidad instalada de 80 a 240MB usando el criterio de mini plantas.
- El almacenamiento de la demanda será compartida, en donde parte de la demanda será almacenada en la Planta Oeste el restante en la planta nodriza de Catia La Mar.
- Los días de autonomía de toda la planta (lo almacenado en la Planta de Catia la Mar más lo almacenado en Planta Oeste) fueron fijados en: 4 días

para la gasolina de 95, 4 días para la gasolina de 91 octanos y 3 días para el diesel.

- Planta oeste se diseñó para una vida útil mínima de 20 años, por lo cual se diseñó para manejar el volumen de gasolinas y diesel del sector oeste de la ciudad de Caracas, de acuerdo a la distribución estimada de los mismos en el año 2030.
- No se consideró suministro de Diesel para plantas termoeléctricas.
- Los límites de batería de este Trabajo Especial de Grado va desde las bombas ubicadas en Catia La Mar hasta el patio de tanques de la Nueva Planta de Distribución de Planta Oeste.
- El tanque de almacenamiento del producto fuera de especificaciones tendrá una capacidad de almacenamiento equivalente al 12% de la capacidad del tanque de mayor tamaño. Esto es con el fin de prever el caso cuando se realizan labores de mantenimiento al poliducto y haya que vaciarlo (lanzando una herramienta denominada “Trampa raspa tubo”) a lo largo del mismo, el cual se realiza periódicamente.

4.2.2. Criterios de Velocidad y Caída de Presión

Las tuberías de procesos fueron dimensionadas con un 110% del flujo normal de operación, esto con el fin de garantizar una flexibilidad operacional.

La velocidad mínima para líquidos se establece en 3 pies/seg (según API RP 14E “Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems”).

Para el diseño de líneas de procesos se establecen las siguientes caídas de presión y velocidades máximas, tomando un flujo monofásico en fase líquida (ver Tabla N° 10).

Tabla N° 10. Velocidades y Caídas de Presión para Líquidos.

Tipo de Servicio	Velocidad, pies/seg	ΔP psi/100 pies
Recomendación General	5 - 15	4
Flujo Laminar	4 - 5	-
Densidad del fluido, lb/ft ³	-	-
100	5 - 8	-
50	6 - 10	-
20	10 - 15	-
Succión de Bombas	-	-
Líqu. en su Punto de Burbuja	2 - 6	0,4
Líquido no Hirviente	4 - 8	0,4
Descarga de Bombas, gpm	-	-
0 - 250	6 - 8	4
250 - 700	8 - 10	4
> 700	10 - 15	2
Salida de fondos de recipientes	4 - 6	0,5
Circulación por gravedad	3 - 8	0,4

Fuente: Manual Ingeniería de Diseño (L-TP-1.5). Cálculo Hidráulico De Tuberías PDVSA. 1994.

Se muestra en la Tabla N° 10 resaltado en amarillo uno de los criterios utilizados en las simulaciones de este Trabajo Especial de Grado.

4.2.3. Seguridad

Se aplicará aislamiento para protección del personal (PP) a las superficies que cumplan con las siguientes condiciones:

Cuando la temperatura de la superficie sea mayor de 150 °F.

Cuando la superficie perteneciente a la planta deba estar confinada dentro de áreas de trabajo normal y situado donde el personal podría inadvertidamente hacer contacto con ella. (Fuente: Norma PDVSA 90622.1001).

4.2.4. Sistemas de Alivio Descarga a Sistemas Cerrados

Las válvulas de alivio de presión que manejan materiales que son líquidos o parcialmente líquidos en la entrada de la válvula, deben descargar a sistemas cerrados.

Las válvulas de alivio de presión que manejan servicios de vapores tóxicos o corrosivos que condensan a las condiciones ambientales, deben descargar a sistema cerrado.(API STANDARD 650).

4.2.5. Descarga a Sistema Abierto (Atmósfera)

Las válvulas de alivio que manejan totalmente vapor en la entrada de la válvula y no caen en ninguno de los criterios para válvulas de alivio de presión a sistemas cerrados pueden descargarse a la atmósfera.

4.2.6. Válvulas de Control

La caída de presión es función del sistema en estudio, sin embargo como regla general, la caída de presión asociada a la válvula de control no debe ser menor al 10% y no mayor a 85% del diferencial de presión disponible en el circuito hidráulico que controla la mencionada válvula.

Para una válvula de control, la caída de presión mínima debe ser de 10 psi. (Manual Ingeniería y diseño, 1994)

4.3. DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.

Partiendo del estudio de área necesaria para implantar el patio de tanques convencionales, opción que resultó favorecida en la matriz de selección de tecnología como mejor opción; considerando la base de diseño de mini-plantas y la demanda de diseño general de la planta, la cual se muestra en la Tabla N° 11.

4.3.1. Bases de Diseño

Tabla N° 11. Capacidad de diseño general Planta de distribución Oeste.

Producto	Demanda (MBD)	Autonomía (Días)	Capacidad teórica (MB)	Capacidad Operativa (MB)
GASOLINA 95 OCT	47,05	4	188,20	216,43
GASOLINA 91 OCT	11,20	4	44,80	51,52
DIESEL	18,12	3	54,36	62,51
FUERA DE ESPECIFICACIONES				5
TOTALES	76,37			335,46

Fuente: Comercio y distribución Venezuela "CyDV". Volumetrías del distrito metropolitano (2016-2030).

Para darle flexibilidad operacional a la planta, es necesario que la planta oeste tenga como mínimo dos tanques de cada combustible a almacenar (gasolina de 95 y 91 octanos y diesel), de esta forma mientras un tanque está despachando combustible hacia el llenadero el otro tanque podrá estar recibiendo combustible, el cual necesita tener un tiempo de residencia en el tanque de 4 horas para la gasolina y de 6 horas para el diesel antes de ser despachado hacia el llenadero, esto es con el fin de que los sedimentos de sólidos y agua presentes en el combustible asienten, y de esta manera se garantiza el despacho continuo de combustible en la planta oeste.

El diseño de las facilidades de almacenamiento para cada combustible (gasolina 95, gasolina 91 y diesel) comprenderá dos (2) tanques con una capacidad cada uno de 40.000 barriles, 10.000 barriles y 15.000 barriles respectivamente, que totalizan una capacidad de almacenamiento de 130.000 barriles en la nueva planta oeste de Caracas. Por las características de los combustibles a ser almacenados, la gasolina y el producto fuera de especificación, serán almacenados en tanques de techo flotante. El diesel, por su parte, será almacenado en tanques de techo fijo.

El producto fuera de especificación será almacenado en un tanque de techo flotante con capacidad nominal de 5000 barriles.

Usando la norma API 650 se puede ajustar y dar la capacidad real exacta de cada tanque de combustible, se muestran a continuación en la siguiente tabla N° 12.

Tabla N° 12. Capacidad real de los tanques de almacenamiento de combustible.

Producto	Capacidad Seleccionada Exacta en (Barriles)	Capacidad Seleccionada (Barriles)	Capacidad Real disponible (Barriles). Con un factor de Sobre diseño 15%	Autonomía Planta Oeste (días)	Autonomía Planta de Catia la Mar .(días)
Gasolina 95 octanos	40425	2x40425	92978	2,0	2,0
Gasolina 91 octanos	10315	2x10315	23725	2,1	1,9
Diesel	15130	2x15130	34799	1,9	1,1

Fuente: API STANDARD 650. “Welded Tanks for oil storage”. Eleventh edition. June 2007.

La Tabla N° 12 muestra la capacidad real seleccionada usando la API STANDARD 650, la cual es multiplicada por el número de tanques de cada producto (2). Dichos tanques están calculados con un factor de sobrediseño del 15% obteniéndose así la capacidad real disponible de cada producto en la planta oeste (Ver Apéndice C). De igual forma se obtuvo la autonomía de instalada en la planta oeste, (ver cálculos tipo en el Apéndice C), donde la autonomía restante está almacenado en la planta nodriza de Catia La Mar, la sumatoria de ambas autonomías dará la autonomía general de toda la planta oeste. La altura y el diámetro se leen directamente de la API 650, para un tanque con la característica de capacidad real seleccionada, se muestra en la tabla N° 13.

Tabla N° 13. Dimensiones de los tanques de combustibles.

Producto	Altura (pie)	Diámetro (pie)
Gasolina 95 octanos	40	85
Gasolina 91 octanos	32	48
Diesel	40	52

4.3.2. Criterios de Diseño

Los tanques tienen niveles operativos manteniendo siempre límites de seguridad los cuales son HLL, LLL y la altura del tanque H, el cual cumple una relación ideal de diámetro/altura que es de donde se obtiene las alturas y diámetros de los tanques especificados por la API 650.

A continuación se listan las premisas generales para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento de combustible.

- Para el diseño de tanques de almacenamiento de combustible se consultó la Norma de diseño de tanques API 650.
- Las condiciones de temperatura y presión de operación son 25°C y 14,7psia respectivamente para todos los Tanques de Almacenamiento de Combustible.
- Los tanques de almacenamiento de gasolina de 95 y 91 octanos, así como el producto fuera de especificación serán de Techo Flotante, por considerarse a los contenidos dentro de ellos como líquidos inflamables. Clase I.
- Los tanques de almacenamiento de diesel, serán de techo cónico, por tratarse de un combustible líquido. Clase III.
- Para el diseño de los tanques de techo fijo y techo flotante se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:
 - ✓ Diferencia de altura entre el Tope del tanque y el nivel de líquido (HHLL):
 - 2 pies para tanque de techo fijo.
 - 4 pies para tanque de techo flotante.
 - ✓ Diferencia de altura entre nivel de líquido (HHLL) y (HLL): 1 pie.
 - ✓ Diferencia de altura entre el fondo del tanque y el centro de la boquilla de salida dependerá del diámetro de la boquilla, según Tabla 3-6 Dimensions for Shell Nozzels (API 650).
 - ✓ Diferencia de altura entre tope de la boquilla de salida y nivel de líquido (LLLL): 1 pie.
 - ✓ Diferencia de altura entre nivel de líquido (LLLL) y (LLL): 1 pie.

- Para dimensionamiento de las boquillas de salida de los tanques de combustible, se consideró que la demanda diaria, será suministrada durante el periodo de 16 horas.
- Se asumió que el diámetro de las boquillas de salida de los tanques de combustible será igual al diámetro de cada una de la línea que suministre el diesel o las gasolinas de 95 y 91 octanos hacia los llenaderos, basado en criterios de dimensionamiento de tubería por gravedad, según Norma PDVSA LTP-1.5.(Ver Apéndice D).

4.4. SIMULACIÓN DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA EN CATIA LA MAR HASTA LA PLANTA OESTE, PARA LOS DISTINTOS COMBUSTIBLES

Para la evaluación hidráulica requerida, se empleó el software comercial PIPEPHASE Versión 9.1 de SIMSCI. Este software está en capacidad de realizar un balance global de presiones a lo largo de toda la tubería que conforma el sistema, de manera de verificar las condiciones de velocidad y caída de presión para los distintos fluidos a ser manejados. En la tabla N° 14 se encuentra las variables a ser utilizadas para realizar la evaluación hidráulica con el software comercial Pipephase.

Tabla N° 14. Variables empleadas para la simulación.

Tuberías	Al Aire
Diámetro del poliducto	10''
Longitud máxima aproximada	3.773,08m
Perfil topográfico	Apéndice E, Figuras E.1 hasta la E.9
Tipo de simulación	Network Model
Tipo de Fluido	Líquido
Correlación para los cálculos de caída de presión	MOODY

El límite de batería para este Trabajo Especial de Grado abarcó el proceso de suministro de combustible desde la futura planta de Catia La Mar a través de unas bombas centrífugas que impulsaran el fluido hasta la nueva planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas.

Las simulaciones aportaron resultados a los estudios hidráulicos asociados al poliducto. Inicialmente se determinó que no es necesario el requerimiento de

estaciones de re-bombeo entre el centro de suministro y la nueva planta debido a lo corto de la ruta y a que existen bombas centrífugas capaces de generar la potencia necesaria para llevar el fluido desde la nueva planta de Catia la Mar hasta el patio de tanque de la nueva planta oeste.

En función a lo antes indicado el alcance de las facilidades necesarias para el transporte y almacenamiento de gasolina de 95 octanos, gasolina de 91 octanos y diesel contempla las siguientes infraestructuras:

- Área de bombas ubicadas en la nueva planta de distribución de combustible de Catia La Mar que bombearan el combustible hacia la planta de distribución de combustible para el oeste de Caracas.
- Poliducto para el transporte de combustible entre el centro de suministro de combustible (nueva planta de Catia La Mar) y la nueva planta de almacenamiento y distribución de combustible a ser ubicada en Salto Boquerón.
- Tanques de almacenamiento de combustibles ubicados en el área de la nueva planta de almacenamiento y distribución de combustible para los distintos productos a transportar (gasolina de 95 y 91 octanos y diesel).

La nueva planta para el oeste de Caracas será diseñada con una autonomía reducida, como base de diseño se estableció una capacidad total de almacenamiento de 135.000 barriles. El volumen restante requerido (200.000 barriles) para cumplir con la autonomía que no logre satisfacer la nueva planta oeste, será ubicado en la futura planta de Catia La Mar.

La evaluación hidráulica del poliducto se basó en la ubicación del patio de tanques de la planta de distribución de combustible y de la ruta obtenida en la ingeniería conceptual del poliducto, se realizó la evaluación del poliducto, determinando inicialmente el diámetro que mejor se adecue a las exigencias de la demanda, evaluando para ello distintos diámetros 8, 10 y 12 pulgadas y obteniendo que el que mejor se adecua a las exigencias requeridas es un poliducto de 10 pulgadas de diámetro (Ver Apéndice F). Luego se realizó la evaluación hidráulica con la finalidad de determinar la presión requerida en la nueva planta de Catia La Mar para poder transportar el combustible (gasolina 95, gasolina 91 y diesel) hasta los tanques de almacenamiento.

4.4.1. Bases de Diseño

- El diámetro del poliducto es de 10 pulgadas.
- Los límites de batería va desde:
 - ✓ El origen del poliducto: salida de la trampa de envío de raspatubos ubicada en la nueva planta de Catia la Mar. Cota de la nueva planta de Catia la Mar: 246 m sobre el nivel del mar.
 - ✓ La llegada del poliducto: llegada de la trampa receptora de raspatubos ubicada en el patio de tanques de almacenamiento de combustible. Cota del patio de tanques de almacenamiento de combustible: 945 m sobre el nivel del mar.
 - ✓ La longitud aproximada del poliducto es de 3773,08 m.
 - ✓ EL perfil topográfico del poliducto, en base a los planos del perfil longitudinal obtenido de la ingeniería conceptual.
 - ✓ Los productos a ser manejados por el poliducto serán: gasolina de 95, gasolina de 91 y diesel. Para los cálculos hidráulicos, las gasolina de 95 y 91 serán manejados como un mismo fluido, ya que tienen la misma gravedad específica y viscosidad. En la tabla N°15 se muestran las propiedades:

Tabla N° 15. Propiedades de los fluidos a ser transportados en el Poliducto a las condiciones de operación (25°C y 14,7psia).

Fluido	Gasolina 95	Gasolina 91	Diesel
Gravedad Específica	0,72	0,72	0,87
Viscosidad Cp	0,47	0,47	4,32
Temperatura del fluido (°C)	25	25	25

Fuente: INTEVEP, S.A. (2001). Deltaven S.A, análisis cuantitativo de riesgo (ACR) de diesel mediano. Rev.1.

INTEVEP, S.A.(2001) Deltaven S.A, análisis cuantitativo de riesgo (ACR) de gasolina sin plomo (todos los grados). Rev.1.

La caudal de diseño del poliducto es de 95.463 BPD, el cual está calculado a partir de la demanda de total de la planta oeste que es 76.370 BPD fijando un factor de utilización del poliducto de un 80%.

4.4.2. Criterios de diseño. Algunos criterios que fueron tomados para las simulaciones fueron los siguientes:

- La presión de llegada a la trampa receptora de raspatubos ubicada en el patio de tanques se fijó en 30 psig.
- Criterios de velocidad y caída de presión.

En la tabla N° 16 se encuentran la velocidad y la caída de presión y recomendada para éste servicio.

Tabla N° 16. Criterios de Diseño para la Evaluación del Poliducto.

Servicios Descargas de Bombas	Velocidad (ft/seg)	Caída de Presión (ΔP) (psi/100ft)
>700GPM	10-15	Máx.2

Fuente: Manual Ingeniería de Diseño (L-TP-1.5). Calculo Hidráulico De Tuberías PDVSA. 1994.

En el apéndice E se muestran los reportes de las simulaciones para las evaluaciones hidráulicas del poliducto, para gasolina y diesel respectivamente.

En la tabla N° 17 se encuentran los resultados obtenidos de la evaluación hidráulica del poliducto, para el caso de gasolina y diesel.

Tabla N° 17. Resultados de la evaluación hidráulica del Poliducto.

Variables	Gasolina	Diesel
Flujo Volumétrico (BPD)	95.463	95.463
Temperatura de Operación (°C)	25	25
Diámetro Nominal (pulgadas)	10	10
Espesor de tubería (pulgadas)	0,365	0,365
Rugosidad Absoluta (pulgadas)	0,0018	0,0018
Velocidad (pies/seg)	11,37	11,37
Caída de Presión por fricción (2psig/100pie)	1,06psig/100pie	1,56psig/100pie
Presión Requerida en la Nueva Planta de Catia la Mar (psig)	11,37	11,37
Presión Requerida en las trampas de recibo ubicadas en Patio de Tanques (psig).	30	30
Criterio: Velocidad 10-15 pies/seg Caída de Presión: <2 psig/100pie	Si Cumple	Si Cumple

Espesor de tubería. Fuente: Buthod, P (1981). "Pressure Vessel Handbook". United States of America.

En la Figuras N° 7 y 8 se encuentran los perfiles de presión de la evaluación hidráulica del poliducto, para el caso de gasolina y diesel.

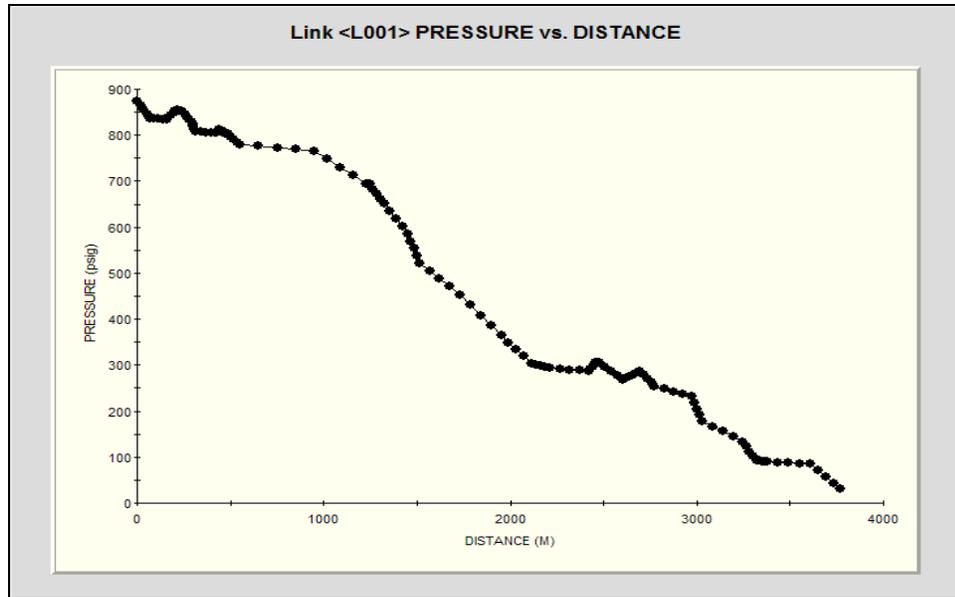


Figura N° 7. Perfil de presión del poliducto de las evaluaciones hidráulicas realizadas con Gasolina.

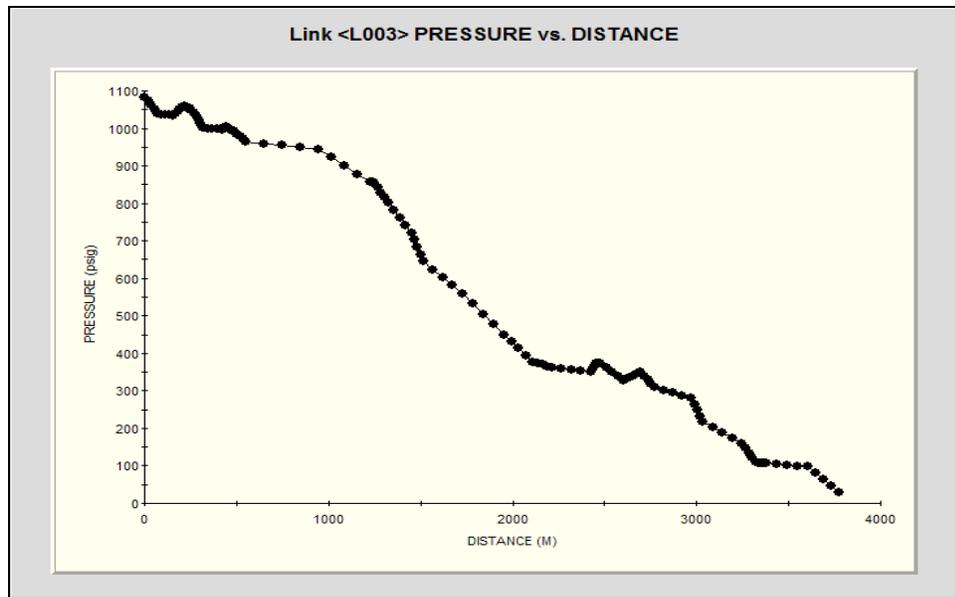


Figura N° 8. Perfil de presión del poliducto de las evaluaciones hidráulicas realizadas con diesel.

Comparando las Figuras N° 7 y 8, se observa que la caída de presión del diesel es 1100 psig y es mayor que la gasolina que alcanza una caída de presión de 890psig, esto es debido a que el diesel es un fluido mucho más viscoso que la gasolina, es por esta razón que se toma el diesel como fluido de diseño para el dimensionamiento del poliducto y bombas centrífugas necesarias para el proyecto, el diesel es el producto hidráulicamente más desfavorable.

4.4.3. Simulaciones en PRO II.

Las composiciones molares de cada uno de los productos (gasolina 95, gasolina 91 y diesel) emitidos por el departamento de control de calidad de PDVSA (Ver Apendice G) fueron consideradas en las simulaciones hechas con el simulador PRO II, con el fin de corroborar las propiedades fisicoquímicas de los distintos fluidos a manejar y además determinar el sistema de bombeo necesario para transportar el diesel y la gasolina de medio y alto octanaje desde la nueva planta de Catia la Mar hasta planta oeste a través del poliducto. Dichas composiciones fueron obtenidas de la refinería de Puerto la Cruz, pero en nuestro caso, la refinería que distribuye el combustible a la nueva planta de Catia la Mar a través de buques tanqueros es el Complejo Refinador de Paraguaná (CRP), y que a su vez este combustible llegará hasta la planta oeste a través del poliducto (planta de Catia la Mar- planta oeste), pero a efectos de ser usados para una simulación, la variación es mínima y no afecta la confiabilidad de los resultados arrojados por el simulador.

Las propiedades fisicoquímicas que se obtuvieron en las simulaciones realizadas en PRO II, se aprecian en la tabla N° 18, en el Apéndice H se puede observar un reporte completo arrojado por el simulador:

Tabla N° 18. Cuadro comparativo de las propiedades de los fluidos a ser transportados en el Poliducto.

Fluido	Gasolina		Diesel	
	Bibliografía	Simulación	Bibliografía	Simulación
Gravedad especifica	0,72	0,72	0,87	0,77
Viscosidad (Cp)	0,47	0,43	4,32	2,17
Temperatura (°C)	25	25	25	25

Se usó la relación termodinámica de *Soave- Redlich-Kwong (SRK)* y se puede observar que las propiedades fisicoquímicas arrojadas por el simulador de los distintos productos transportados por el poliducto (nueva planta de Catia la Mar-planta oeste) varían en gran medida con respecto a las tomadas de la bibliografía sobre todo para el diesel, esto pudo ser debido a que la correlación seleccionada en el simulador PRO II no fue la más adecuada para determinar las propiedades fisicoquímicas de los productos (gasolina y diesel). Se usaron otras relaciones pero el resultado se alejaba más que el reportado por esta relación.

4.5. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA PLANTA OESTE

El límite de batería para el diseño de las bombas se inicia en el múltiple de admisión ubicado en la nueva Planta de Catia La Mar hasta la válvula reductora de presión que permite el paso de combustible a través de tuberías a los respectivos tanques de almacenamiento en la planta oeste.

Los combustibles (gasolina 95 octanos, gasolina 91 octanos y diesel), almacenados en los respectivos tanques en la nueva planta de distribución de Catia La Mar, serán despachados por bombas principales y serán transferidos hacia los tanques de almacenamiento de la nueva planta para el oeste de Caracas, a través de un poliducto de aproximadamente 3773,08 m de longitud.

De acuerdo al sistema de bombeo, el simulador PROII arrojó un valor que sirvió de valor semilla para dar una idea de cuanto es la potencia que deben manejar las bombas centrifugas principales que transportarán los diferentes productos a través del poliducto.

A continuación se presenta en la tabla N° 19 los resultados obtenidos de la simulación de la gasolina:

Tabla N 19. Resultados de la simulación de la gasolina.

Descripción de la Bomba	Unidades	Valor
Presión de descarga	psig	859,40
Cabezal	ft	2803,52
Potencia	Hp	1660,14

En la Tabla N° 20 se presentan los resultados obtenidos de la simulación para el diesel:

Tabla N° 20. Resultados de la simulación del diesel

Descripción de la bomba	Unidades	Valor
Presión de descarga	psig	1069,30
Cabezal	ft	3246,32
Potencia	Hp	2058,71

Fue tomado como fluido de referencia para el diseño del sistema de bombeo el diesel por ser el fluido más viscoso y que por esta razón necesita una mayor potencia y presión de descarga para transportar el fluido hasta su destino.

4.5.1. Bases y criterios de diseño.

El flujo de diseño de las bombas será igual a un 110% del flujo máximo normal de operación, para darle flexibilidad operacional. La demanda en condiciones normales se muestra en la tabla N°21.

Tabla N° 21. Demanda en condiciones normales de la Planta de distribución y almacenamiento para el Oeste de Caracas.

Combustibles	Demanda (MBD)
Gasolina de 95 Octanos	24,94
Gasolina de 91 Octanos	5,93
Diesel	9,73
Flujo Total	40,60

Fuente: Comercio y distribución Venezuela “CyDV”. Volumetrías del distrito metropolitano (2016-2030).

Se considera como fluido de diseño el diesel por ser el fluido más desfavorable. Se deberá disponer de suficiente NPSH (Cabezal estático) para permitir una flexibilidad razonable en la selección de la bomba. El NPSH disponible debe ser al menos tres (3) pies mayor que el requerido por la bomba.

La máxima presión de descarga para bombas centrífugas (presión de “shut-off”) es igual al 120% de la presión diferencial nominal más la máxima presión de succión. Esta presión será también la presión de diseño de la bomba, en ningún caso la presión de diseño deberá ser menor de 50 psig. (Fuente: Norma PDVSA No. 90616.1023).

Se recomienda que la velocidad en cabezales de succión no exceda de 6 pies/seg. El flujo mínimo para protección de bombas es del 30% del diseño del equipo. El nivel de líquido en recipientes para efectos de cálculo del NPSH se deberá tomar desde el nivel de líquido bajo-bajo (LLLL). Todas las bombas en servicio continuo contarán con un equipo de respaldo a fin de disponer de flexibilidad operacional en caso de parada de una de ellas, ya sea por daños en la misma o por mantenimiento.

4.5.2. Determinación del NPSHd.

Para realizar el cálculo de NPSH disponible de la bomba, se realizó una hoja de cálculo en Excel ajustada a las bases y criterios de diseño.(Ver Apéndice I). Los datos con que se cuentan son los siguientes:

- Caudal a manejar por las bombas.
- Propiedades del fluido: en este caso el fluido hidráulicamente más desfavorable es el diesel.
- Nivel de líquido del recipiente de succión.
- Distancia de separación (que va desde el tanque de donde se succiona hasta las bombas) hay que destacar que se toma el caso más desfavorable para el diseño de las bombas, es decir; el tanque de combustible más grande y más lejano, datos que fueron extraídos del Plot Plan preliminar del Proyecto nueva Planta de Catia La Mar.
- Elevación del tanque.
- Eficiencia de la bomba.

Después de haber realizado la hoja de cálculo, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 22:

Tabla N° 22. Resultados de la hoja de cálculo del diseño de bombas centrífugas.

Variabes	Bombas centrífugas principales
NPSH disponible (ft)	7,6
Presión de descarga (psig)	1069,3
Presión diferencial de la bomba (psi)	1070,1
Presión de Cierre de emergencia (psig) Shut-off Pressure.	1301,9
Cabezal diferencial de la bomba (ft)	2838,6
Potencia hidráulica (Hp). HHP	894,6
Potencia al Freno (Hp) .BHP	1118,2

Al consultar varios catálogos de bombas, se pudo obtener los siguientes datos suministrados por el fabricante de las bombas “*BYRON JACKSON HOLLAND (Borg Warner)*”, la cual se adapta a las especificaciones requeridas para este proyecto, en la tabla N° 23 muestra las características de la bomba centrífuga.

Tabla N° 23. Especificaciones de la bomba centrífuga

Variable	Bomba Centrífuga
Potencia (Hp)	2250
Caudal Máximo que puede manejar (GPM)	1500

Para un poliducto de 10 pulgadas de diámetro, el cual cumple con los requerimientos del proyecto, el caudal que puede manejar es 95463 BPD fijando un factor de utilización del mismo de un 80% que equivalen a dos bombas centrífugas de 47.731,5 BPD (1.392 GPM) cada una; es por ello que para poder cubrir la demanda en contingencia de 76.370 BPD será necesario dos bombas centrífugas en operación en paralelo durante un periodo de 20 horas aproximadamente.

La demanda requerida en operación normal 40.600 BPD (1184,17GPM) será cubierta con dos bombas en operación de 47.731,5 BPD (1.392 GPM) durante un período de 10 horas aproximadamente.

La potencia que es capaz de suministrar las bombas seleccionadas para la planta oeste supera los valores necesarios, la cual fue 2058,71Hp obtenida de la simulación hecha con el simulador PRO II.

4.5.3. Dimensionamiento de tuberías.

Bases y Criterios de diseño.

- Para la determinación del diámetro de la línea de tubería de alimentación a las bombas centrífugas desde el tanque ubicado en Catia la Mar se tomó como referencia el caudal máximo de operación (40.600BPD).
- El criterio de velocidad máxima y caída de presión por 100 pies de tubería, norma PDVSA L-TP.1.5.
- Para succión de bomba con líquido no hirviendo. Velocidad: 4-8 ft/s
- Las pérdidas por fricción en líneas de succión no deben ser mayores de 0,4psi/100 ft
- Después de realizar los cálculos correspondientes se obtuvo que es necesario una tubería de 10 pulgadas de diámetro para manejar el caudal normal máximo de operación a la entrada de la bombas centrífugas, cumpliéndose los criterios de velocidad para la succión de bomba con líquido no hirviendo y de pérdidas por fricción en las líneas no deben ser mayores a 0,4 Psi por cada 100 ft. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la Tabla N° 24, (Ver Apéndice I):

Tabla N° 24. Resultado obtenido de las iteraciones para obtener el diámetro de tubería.

Variable	Obtenido	Permitido
Velocidad (ft/s)	4,89 ft/s	4-8 ft/s
Pérdida de Presión en la tubería (PSI)	0,1471psi/100ft	0,4 psi/100 ft

4.6. DOCUMENTOS DE INGENIERÍA QUE SOPORTAN EL DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE Y EL POLIDUCTO DESDE LA NUEVA PLANTA DE CATIA LA MAR HASTA PLANTA OESTE

Finalmente fueron generados los siguientes documentos que apoyaran el diseño y simulaciones realizadas en este Trabajo Especial de Grado: descripción y filosofía de operación del proceso, diagramas de flujo del proceso, diagramas de tubería e instrumentación, listado de equipos y los códigos y normas utilizados.

4.6.1. Listado de equipos.

En la tabla N° 25 se presentan la lista de los equipos diseñados y evaluados para la planta de almacenamiento y distribución denominada Planta Oeste

Tabla N° 25. Listado de equipos.

IDENTIFICACIÓN	PLANO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
P-01101 A	DTI-01	BOMBA CENTRIFUGA	Potencia=2250 HP
P-01101 B	DTI-01	BOMBA CENTRIFUGA	Potencia=2250 HP
P-01101 C	DTI-01	BOMBA CENTRIFUGA	Potencia=2250 HP
T-101 A	DTI-04	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA 95 OCTANOS	Capacidad=40 MB
T-101 B	DTI-04	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA 95 OCTANOS	Capacidad=40 MB
T-102 A	DTI-05	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA 91 OCTANOS	Capacidad=10 MB
T-102 B	DTI-05	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA 91 OCTANOS	Capacidad=10 MB
T-103 A	DTI-06	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL	Capacidad=15 MB
T-103 B	DTI-06	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL	Capacidad=15 MB
T-104	DTI-07	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE FUERA ESPECIFICACIONES	Capacidad=5 MB

4.6.2. Códigos y normas aplicables

Selección de tecnología y diseño de tanques

- ✓ COVENNIN 2842-91. Expendio de combustibles, manejo, almacenamiento y despacho.
- ✓ API 650 STD. Welded steel tanks oil storage.

Diques de contención de tanques de combustibles

- ✓ PDVSA AG-211-PRT. Diques de tierra para tanques de almacenamiento.
- ✓ PDVSA N° 0602.1.472 Diques de tierra para tanques de almacenamiento.

Tuberías de procesos

- ✓ PDVSA LT-P-1.5. Cálculo hidráulico de tuberías.
- ✓ PDVSA-90616.1.024. Dimensionamiento de tuberías de procesos.

Bombas

- ✓ API STD.610.Centrifugal Pums for Petroleum, Heavy Duty chemical and Gas Industry Services GPSA. Engineering Data. Volume I. Sección 12.
- ✓ PDVSA-GA-201. Bombas Centrífugas.
- ✓ MDP-02-P-04. NPSH.
- ✓ MDP-02-P-05. Tipos de Bombas.
- ✓ PDVSA No. 90616.1023.

Diagramas de flujo del proceso y diagrama de tuberías e instrumentación

- ✓ L-Tp-11. Preparación de diagramas de proceso.
- ✓ L-Tp-1.2.Simbología para planos de proceso.
- ✓ L-Tp-1.3. Identificación y numeración de tuberías.

4.6.3. Descripción y Filosofía del Proceso

Los combustibles gasolina de 95 octanos, gasolina de 91 octanos y diesel producidos en el Centro Refinador Paraguaná son despachados en buques tanqueros y descargados en el muelle que sirve a la nueva Planta de Catia la Mar en el Estado Vargas. El envío de combustibles que alimentará a la nueva planta para la zona oeste de la Gran Caracas, se realizará a través de un nuevo poliducto de aproximadamente 3,77 km de longitud y 10" de diámetro.

La gasolina de 95 y 91 octanos es utilizada como combustible del parque automotor y el diesel por su parte tendrá dos usos que son: automotor e industrial. El caudal a pasar por la tubería de 10" es de 95.463 BPD. Este será transferido al patio de tanques a través de 2 bombas centrífugas en operación de 47.731,5 BPD (1.392gpm) cada una. Este valor de caudal cubrirá la demanda en caso de contingencia de la planta Oeste que es de 76.370 BPD.

El área de transferencia en la Planta de Catia la Mar estará constituida por 3 bombas centrífugas dos de las cuales operan en paralelo y una estará de reserva, las cuales tienen una presión máxima de descarga de 1069,3 psig. Estas bombas transfieren el combustible, por medio de la línea 10"-P-101009-60A1 que se

interconecta al poliducto que alimentará a la nueva planta para el oeste de la Gran Caracas.

El combustible según su tipo será desviado en el múltiple de admisión hacia el tanque de almacenamiento correspondiente mediante válvulas motorizadas. El criterio utilizado para separar el diesel y la gasolina se basa en el principio de diferencia de velocidad del fluido utilizando un densitómetro.

En el poliducto se instalará una válvula de bloqueo de emergencia (Shut-down), para producir el cierre de la válvula impidiendo el paso de flujo, mediante el pulsador de emergencia ubicado en la sala de control, el cual será activado por el operador en caso de incendio.

En la línea de succión y de descarga de cada una de las bombas de suministro de Catia la Mar P-01101A/B/C existirá un indicador local de presión, dichas bombas tendrán un selector que permitirá operar de manera automática o manual.

El almacenamiento de gasolina 95 está conformado por dos tanques de techo flotante T-02101A y el T-02101B, dichos tanques son alimentados por dos líneas 10"-P-202022-15A1 y 10"-P-202027-15A1. La presión de llegada al cabezal de entrada de los tanques se fijó en 30psig.

El tanque de almacenamiento que esté cargando combustible no podrá despachar simultáneamente. La razón de operar de esta manera se basa fundamentalmente en seguridad operacional y en permitir el drenaje, aforo y muestreo para el análisis de la calidad del combustible que se encuentra en el tanque. Una vez que el proceso de llenado del tanque finalice se procederá a dejarlo en reposo 4 horas para que el agua libre pueda depositarse en el fondo por diferencia de gravedad con el fin de ser drenada hacia las plantas de tratamiento.

Cada tanque (T-02101A y T-02101B) contará con una válvula motorizada YV-07 y YV-09 ubicadas en la líneas de entrada 10"-P-202022-15A1 y 10"-P-202027-15A1 respectivamente. Una válvula motorizada YV-08 y YV-10 ubicadas en la línea de salida 20"-P-202023-60A1 y 20"-P-202028-60A1 respectivamente.

Si se desea enviar gasolina de 95 hacia el tanque T-02101A, deberá permanecer cerrada la válvula YV-09 que se encuentra en la línea 10"-P-202027-15A1, la válvula YV-07 ubicada en la línea de alimentación 10"-P-202022-15A1 al tanque

T-02101A debe estar abierta para el paso de combustible. La indicación de las válvulas motorizadas (abierta ó cerrada) se podrá visualizar en la sala de control. Si se desea almacenar gasolina de 95 en el tanque T-02101B se debe alinear este tanque operando las válvulas de manera inversa a la anteriormente indicada. Es importante aclarar que el llenado de los tanques debe hacerse individualmente, es decir, primero un tanque y luego otro, nunca se realizará el llenado de varios tanques a la vez.

Cuando el nivel del tanque T-02101A/B llega a 35', el interruptor de alto nivel (LSH-206A y LSH-208A) genera una alarma visual y sonora en sala de control para que el operador de forma remota cierre la válvula YV-07 ó YV-09 ubicadas a la entrada del tanque antes de que llegue a su nivel máximo (HHLL: 36'), luego de esto el supervisor debe comunicarse con la sala de control de la Planta de Catia la Mar a fin de parar el bombeo, en caso de que no requiera llenar el otro tanque.

En caso de que si requiera llenar el otro tanque, durante el cambio de tanque la válvula motorizada a la entrada del tanque lleno se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la entrada del otro tanque vacío para continuar con las operaciones de llenado sin interrupciones.

Cuando el nivel del tanque T-02101A/B llega a 4', el interruptor de bajo nivel (LSL-206A y LSL-208A) genera una alarma visual y sonora en sala de control para que el operador cierre la válvula YV-08 y YV-10 a la salida del tanque y proceda a alinear tanques listos para descarga o despacho, esto quiere decir: a) que no esté recibiendo producto, b) que no esté siendo drenado o aforado. Durante el cambio de tanque, la válvula motorizada a la salida del tanque vacío se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la salida del otro tanque lleno para continuar con la operación sin interrupciones en el despacho.

Cuando el nivel del tanque T-02101A/B llega a 36', el sistema instrumentado de seguridad (SIS) será activado mediante el interruptor de alto-alto nivel (LSHH-207A y LSHH-209A) que además de generar una alarma visual y sonora en sala de control enviará la señal de cierre de la válvula de emergencia (Shut-down), ubicada en el área de recibo que aísla el poliducto.

Con la finalidad de brindar protección tanto al personal como a las instalaciones en la línea de transferencia de gasolina de 95 hacia el llenadero

20"-P-202026-60A1, se instalará una válvula de bloqueo de emergencia (Shutdown) XV-02, para producir el cierre de la válvula impidiendo el paso de flujo hacia el llenadero, proveniente del pulsador de emergencia ubicado en sala de control, el cual será activado por el operador en caso de incendio.

El almacenamiento de gasolina 91 está conformado por dos tanques de techo flotante T-02102A y el T-02102B, dichos tanques son alimentados por dos líneas 10"-P-203031-15A1 y 10"-P-203036-15A1. La presión de llegada al cabezal de entrada a los tanques se fijó en 30psig.

El tanque de almacenamiento que este cargando combustible no podrá despachar simultáneamente. La razón de operar de esta manera se basa fundamentalmente en seguridad operacional y en permitir el drenaje, aforo y muestreo para el análisis de la calidad del combustible que se encuentra en el tanque. Una vez que el proceso de llenado del tanque finalice se procederá a dejarlo en reposo 4 horas para que el agua libre pueda depositarse en el fondo por diferencia de gravedad con el fin de ser drenada hacia las plantas de tratamiento.

Cada tanque (T-02102A y T-02102B) contará con una válvula motorizada YV-11 y YV-13 ubicadas en la líneas de entrada 10"-P-203031-15A1 y 10"-P-203036-15A1 respectivamente. Una válvula motorizada YV-12 y YV-14 ubicadas en la línea de salida 16"-P-203032-60A1 y 16"-P-203037-60A1 respectivamente.

Si se desea enviar gasolina de 91 hacia el tanque T-02102A, deberá permanecer cerrada la válvula YV-13 que se encuentra en la línea 10"-P-203036-15A1, la válvula YV-11 ubicada en la línea de alimentación 10"-P-203031-15A1 al tanque T-02102A debe estar abierta para el paso de combustible. La indicación de las válvulas motorizadas (abierta ó cerrada) se podrá visualizar en la sala de control. Si se desea almacenar gasolina de 91 en el tanque T-02102B se debe alinear este tanque operando las válvulas de manera inversa a la anteriormente indicada. Es importante aclarar que el llenado de los tanques debe hacerse individualmente, es decir, primero un tanque y luego otro, nunca se realizará el llenado de varios tanques a la vez.

Cuando el nivel del tanque T-02102A/B llega a 27', el interruptor de alto nivel (LSH-210A y LSH-212A) genera una alarma visual y sonora en sala de control

para que el operador de forma remota cierre la válvula YV-11 ó YV-13 ubicadas a la entrada del tanque antes de que llegue a su nivel máximo (HHLL: 28'), luego de esto el supervisor debe comunicarse con la sala de control de la Planta de Catia la Mar a fin de parar el bombeo, en caso de que no requiera llenar el otro tanque.

En caso de que si requiera llenar el otro tanque, durante el cambio de tanque la válvula motorizada a la entrada del tanque lleno se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la entrada del otro tanque vacío para continuar con las operaciones de llenado sin interrupciones.

Cuando el nivel del tanque T-02102A/B llega a 4', el interruptor de bajo nivel (LSL-210A ó LSL-212A) genera una alarma visual y sonora en sala de control para que el operador cierre la válvula YV-12 ó YV-14 a la salida del tanque y proceda a alinear tanques listos para descarga o despacho, esto quiere decir: a) que no esté recibiendo producto, b) que no esté siendo drenado o aforado. Durante el cambio de tanque, la válvula motorizada a la salida del tanque vacío se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la salida del otro tanque lleno para continuar con la operación sin interrupciones en el despacho.

Cuando el nivel del tanque T-02102A/B llega a 28', el sistema instrumentado de seguridad (SIS) será activado mediante el interruptor de alto-alto nivel (LSHH-211A y LSHH-213A) que además de generar una alarma visual y sonora en sala de control enviará la señal de cierre de la válvula de emergencia (Shut-down), ubicada en el área de recibo que aísla el poliducto.

Con la finalidad de brindar protección tanto al personal como a las instalaciones en la línea de transferencia de gasolina de 91 hacia el llenadero 16"-P-203033-60A1, se instalará una válvula de bloqueo de emergencia (Shut-down) XV-03, para producir el cierre de la válvula impidiendo el paso de flujo hacia el llenadero, proveniente del pulsador de emergencia ubicado en sala de control, el cual será activado por el operador en caso de incendio.

El almacenamiento de diesel está conformado por dos tanques de techo fijo T-02103A y el T-02103B, dichos tanques son alimentados por dos líneas 10"-P-204040-15A1 y 10-P-204044-15A1. La presión de llegada al cabezal de entrada a los tanques se fijó en 30psig.

El tanque de almacenamiento que esté cargando combustible no podrá despachar simultáneamente. La razón de operar de esta manera se basa fundamentalmente en seguridad operacional y en permitir el drenaje, aforo y muestreo para el análisis de la calidad del combustible que se encuentra en el tanque. Una vez que el proceso de llenado del tanque finalice se procederá a dejarlo en reposo 6 horas para que el agua libre pueda depositarse en el fondo por diferencia de gravedad con el fin de ser drenada hacia las plantas de tratamiento.

Cada tanque (T-02103A ó T-02103B) contará con una válvula motorizada YV-15 ó YV-17 ubicadas en la líneas de entrada 10"-P-204040-15A1 y 10"-P-204044-15A1 respectivamente. Una válvula motorizada YV-16 y YV-18 ubicadas en la línea de salida 16"-P-204041-60A1 y 16"-P-204045-60A1 respectivamente.

Si se desea enviar diesel hacia el tanque T-02103A, deberá permanecer cerrada la válvula YV-17 que se encuentra en la línea 10"-P-204044-15A1, la válvula YV-15 ubicada en la línea de alimentación 10"-P-204040-15A1 al tanque T-02103A debe estar abierta para el paso de combustible. La indicación de las válvulas motorizadas (abierta ó cerrada) se podrá visualizar en la sala de control. Si se desea almacenar diesel en el tanque T-02103B se debe alinear este tanque operando las válvulas de manera inversa a la anteriormente indicada. Es importante aclarar que el llenado de los tanques debe hacerse individualmente, es decir, primero un tanque y luego otro, nunca se realizará el llenado de varios tanques a la vez.

Cuando el nivel del tanque T-02103A/B llega a 37', el interruptor de alto nivel (LSH-214A y LSH-216A) genera una alarma visual y sonora en sala de control para que el operador de forma remota cierre la válvula YV-15 ó YV-17 ubicadas a la entrada del tanque antes de que llegue a su nivel máximo (HHLL: 38'), luego de esto el supervisor debe comunicarse con la sala de control de la Planta de Catia la Mar a fin de parar el bombeo, en caso de que no requiera llenar el otro tanque.

En caso de que si requiera llenar el otro tanque, durante el cambio de tanque la válvula motorizada a la entrada del tanque lleno se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la entrada del otro tanque vacío para continuar con las operaciones de llenado sin interrupciones.

Cuando el nivel del tanque T-02103A/B llega a 4', el interruptor de bajo nivel (LSL-214A ó LSL-216A) genera una alarma visual y sonora en sala de control para que el operador cierre la válvula YV-16 ó YV-18 a la salida del tanque y proceda a alinear tanques listos para descarga o despacho, esto quiere decir: a) que no esté recibiendo producto, b) que no esté siendo drenado o aforado. Durante el cambio de tanque, la válvula motorizada a la salida del tanque vacío se cierra y se abre de manera simultánea la válvula motorizada en la salida del otro tanque lleno para continuar con la operación sin interrupciones en el despacho.

Cuando el nivel del tanque T-02103A/B llega a 38', el sistema instrumentado de seguridad (SIS) será activado mediante el interruptor de alto-alto nivel (LSHH-215A y LSHH-217A) que además de generar una alarma visual y sonora en sala de control enviará la señal de cierre de la válvula de emergencia (Shut-down), ubicada en el área de recibo que aísla el poliducto.

Con la finalidad de brindar protección tanto al personal como a las instalaciones en la línea de transferencia de diesel hacia el llenadero 16"-P-204042-60A1, se instalará una válvula de bloqueo de emergencia (Shut-down) XV-04, para producir el cierre de la válvula impidiendo el paso de flujo hacia el llenadero, proveniente del pulsador de emergencia ubicado en sala de control, el cual será activado por el operador en caso de incendio.

El almacenamiento de producto fuera de especificación está conformado por un tanque de techo flotante T-02104. El producto fuera de especificación alimenta al tanque T-02104 por medio de la línea 10"-P-205047-15A1. Desde este tanque el producto fuera de especificación es succionado por las bombas de transferencia de producto fuera de especificación P-02102A/B (una de las bombas será de reserva). Estas bombas transfieren el producto por medio de la línea 6"-P-205048-15A1 hacia el tanque de almacenamiento de gasolina 91 (T-02102A/B) a través de la línea 6"-P-205051-15A1. Mientras el tanque de almacenamiento esté cargando combustible no podrá despachar simultáneamente.

Las interfases de productos, donde se tiene una mezcla de dos grados distintos de combustible (gasolina-diesel) son almacenadas en este tanque T-02104, por considerarse producto fuera de especificación. Para el caso de los dos grados de gasolina, por tener la misma densidad, la alineación hacia el tanque fuera de

especificación se realiza por tiempo únicamente, procurando que la mayor cantidad de la interfase quede en los tanques de almacenamiento de gasolina de 91 octanos, para no afectar la calidad de la gasolina de 95 octanos.

El tanque T-02104 también servirá para almacenar el contenido completo del poliducto, en caso de que sea necesario ser desalojado en su totalidad por condiciones de contingencia o inconvenientes operacionales.

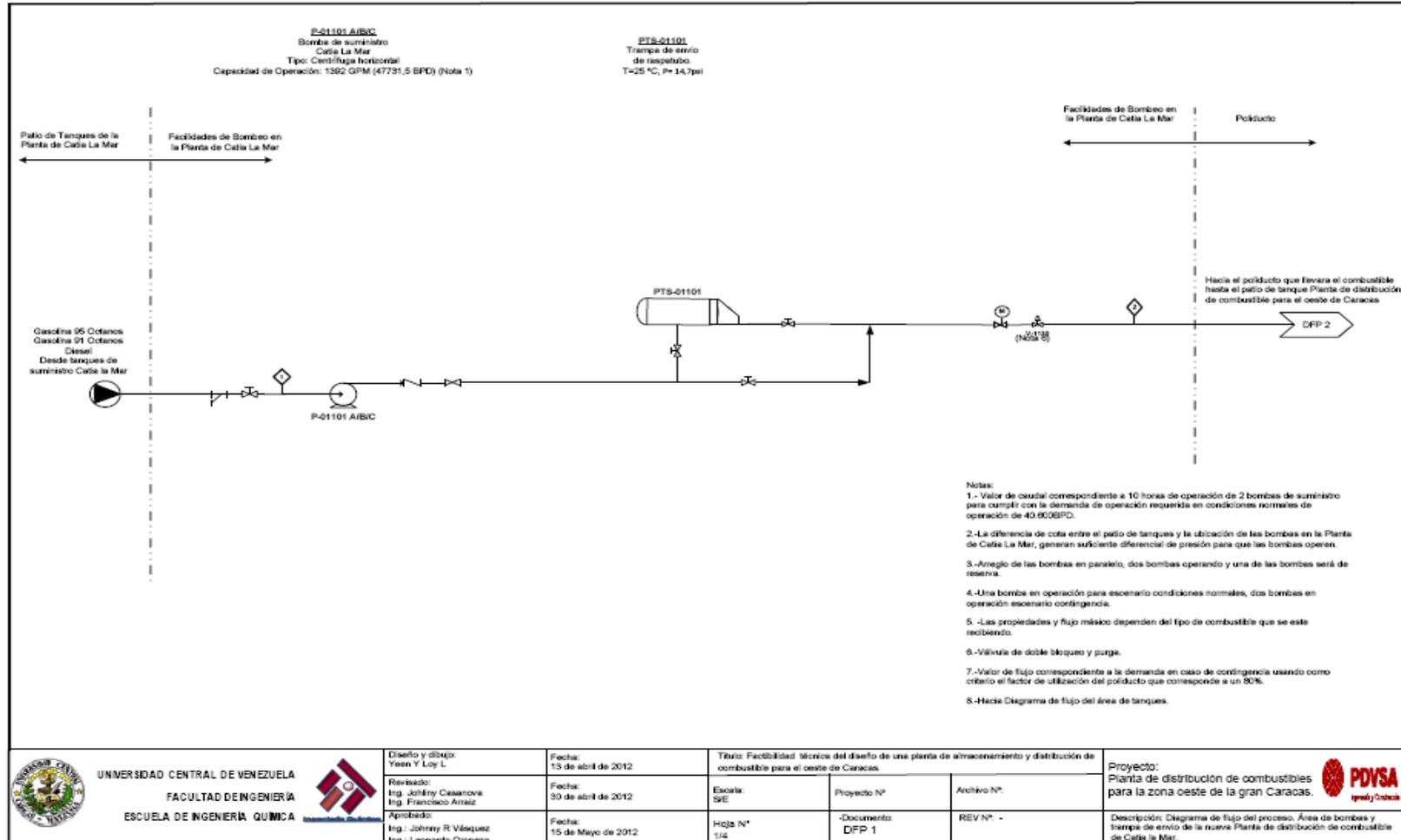
El tanque T-02104 contará con una válvula motorizada YV-19 ubicada en la línea de entrada 10''-P-205047-15A1 y una válvula motorizada YV-20 ubicada en la línea de salida 6''-P-205048-15A1.

Si se desea enviar producto fuera de especificación hacia el tanque T-02104, la válvula YV-19 ubicada en la línea de alimentación del tanque T-02104 debe estar abierta para el paso del combustible. La indicación de las válvulas motorizadas (abierta-cerrada) se podrá visualizar en la sala de control.

Al igual que los tanques de 95, 91 y diesel, este tanque tendrá un sistema de control de nivel que indicarán cuando el tanque llega a un nivel alto y un nivel bajo, como también tendrá la válvula de (Shut-down) para el cierre del paso de combustible en caso de alguna emergencia.

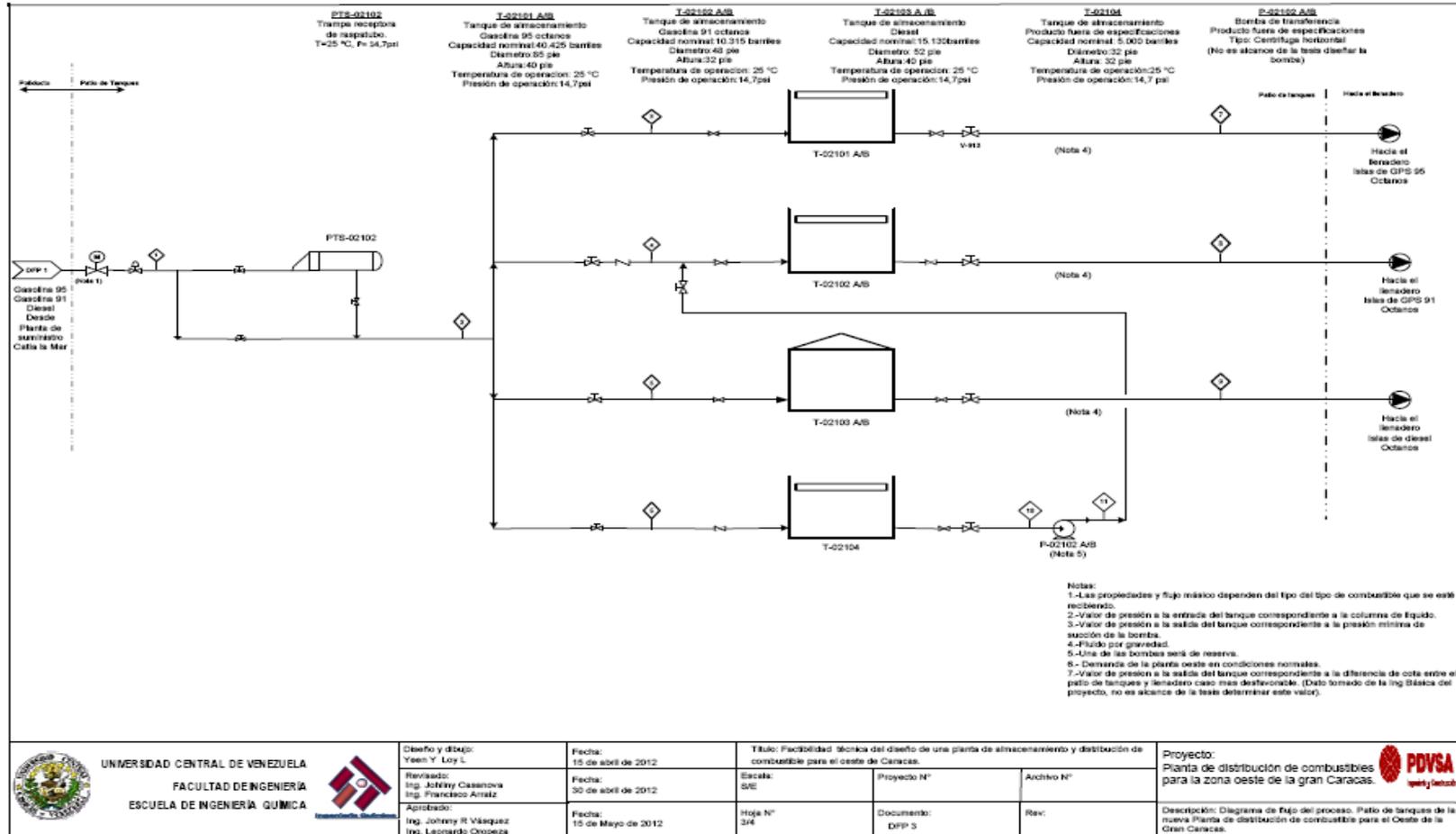
4.6.4. Diagramas de Flujo del Proceso y Diagramas de Tuberías e Instrumentación.

A continuación se presenta los diagramas de flujo del proceso y los diagramas de tuberías e instrumentación que ayudan al entendimiento de la descripción y filosofía de operación del proceso:



Descripción	1	2		
	Suministro de combustible	Suministro de combustible a patio de tanques		
Servicio	Nota n° 5	Gasolina 95 octanos	Gasolina 91 octanos	Diesel
Fase	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida
Flujo Másico (Kg/h)	Nota n° 5	455.323	455.323	550.182
Flujo Volumétrico (BPD)	95.463(nota n°7)	95.463(nota n° 7)	95.463(nota n° 7)	95463(nota n° 7)
Presión de operación (Psig)	Nota n° 2	859,4	859,4	1069,3
Temperatura de operación (°C)	25	25	25	25
Gravedad específica	Nota n° 5	0.72	0.72	0.87
Viscosidad (cP)	Nota n° 5	0.47	0.47	4.32

 UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		Diseño y dibujo: Yoen Y Loy L.	Fecha: 13 de abril de 2012	Título: Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas.		 Proyecto: Planta de distribución de combustibles para la zona oeste de la gran Caracas.
		Revisado: Ing. Johnny Casanova Ing. Francisco Anzál	Fecha: 30 de abril de 2012	Escala: S/E	Proyecto N°:	
Aprobado: Ing. Johnny R Vasquez Ing. Leonardo Orsopa	Fecha: 15 de Mayo de 2012	Hoja N°: 2/4	Documento: DFP 2	REV N°:	Descripción: Balance de masa. Área de bombas y trampa de envío de la nueva Planta de distribución de combustible de Cacao la Mar.	



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Diseño y dibujo: Yean Y. Loy L.	Fecha: 15 de abril de 2012	Título: Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas.	
Revisado: Ing. Johnny Casanova Ing. Francisco Arriaz	Fecha: 30 de abril de 2012	Escala: S/E	Proyecto N°
Aprobado: Ing. Johnny R. Vázquez Ing. Leonardo Oropeza	Fecha: 15 de Mayo de 2012	Hoja N° 3/4	Documento: DFP 3
			Archivo N°
			Rev:

<p>Proyecto: Planta de distribución de combustibles para la zona oeste de la gran Caracas.</p>
<p>Descripción: Diagrama de flujo del proceso. Patio de tanques de la nueva Planta de distribución de combustible para el Oeste de la Gran Caracas.</p>

+

Descripción	1 Llegada al poliducto			2 Entrada múltiple de admisión	3 Entrada al tanque Gasolina 95	4 Entrada al tanque Gasolina 91	5 Entrada al tanque Diesel	6 Entrada al tanque F/E	7 Salida del tanque Gasolina 95	8 Salida del tanque Gasolina 91	9 Salida del tanque Diesel	10 Salida del tanque Producto F/E	11 Transferencia producto F/E
	Gasolina 95	Gasolina 91	Diesel	(Nota 1)	Gasolina 95	Gasolina 91	Diesel	Producto F/E	Gasolina 95	Gasolina 91	Diesel	Producto F/E	Producto F/E
Fase	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida
Flujo Másico (Kg/h)	455.323	455.323	550.182	(Nota 1)	455.323	455.323	550.182	512.238	118.955	28.284	56.077	No es alcance de la tesis	No es alcance de la tesis
Flujo volumetrico (BPD)	95.463	95.463	95.463	95.463	95.463	95.463	95.463	95.463	24.940 (Nota 6)	5.930 (Nota 6)	9.730 (Nota 6)	No es alcance de la tesis	No es alcance de la tesis
Presión de operación (Psig)	30	30	30	30	12,50 (Nota 2)	9,99 (Nota 2)	15,10 (Nota 2)	(Nota 2)	524 (Nota 7)	524 (Nota 7)	634 (Nota 7)	0,67 (Nota 3)	No es alcance de la tesis
Temperatura de operación (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Gravedad específica	0.72	0.72	0.87	(Nota 1)	0.72	0.72	0.87	0.81	0.72	0.72	0.87	0.81	0.81
Viscosidad (cP)	0.47	0.47	4.32	(Nota 1)	0.47	0.47	4.32	1,55	0.47	0.47	4.32	1,55	1,55



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Diseño y dibujo:
Yoen Y. Loy L.

Revisado:
Ing. Johnny Casanova
Ing. Francisco Arriaz

Aprobado:
Ing. Johnny R. Vázquez
Ing. Leonardo Oropeza

Fecha:
15 de abril de 2012

Fecha:
30 de abril de 2012

Fecha:
15 de Mayo de 2012

Título: Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas.

Escala:
SHE

Hoja N°
44

Proyecto N°

Documento:
DPP 4

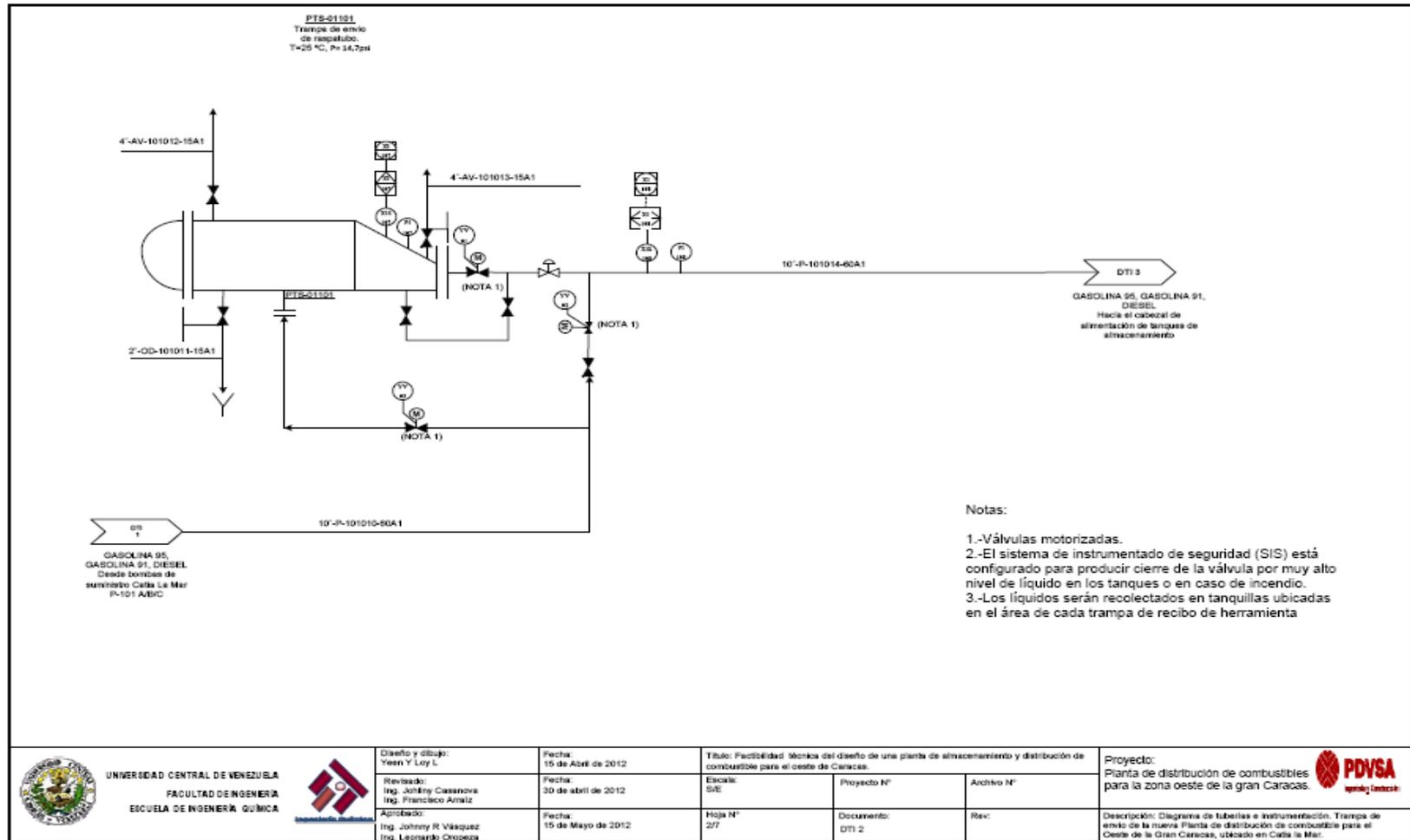
Archivo N°

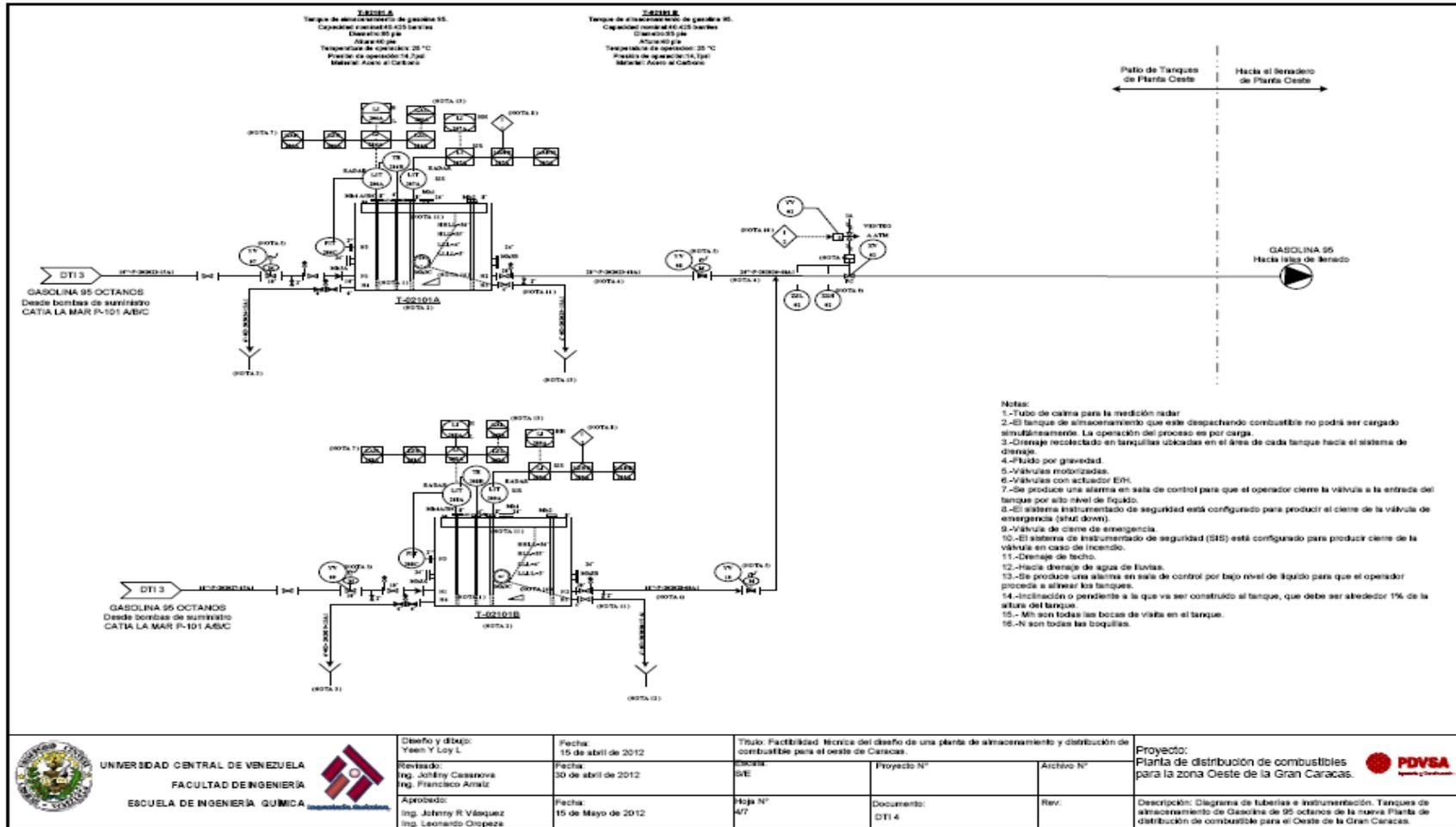
Rev:

Proyecto:
Planta de distribución de combustibles para la zona oeste de la gran Caracas.



Descripción: Diagrama de flujo del proceso. Foto de tanques de la nueva Planta de distribución de combustible para el Oeste de la Gran Caracas.





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Diseño y dibujo:
Yosm Y Loy L.
Revisado:
Ing. Johnny Casanova
Ing. Francisco Améz
Aprobado:
Ing. Johnny R. Vázquez
Ing. Leonardo Chopeza

Fecha:
15 de abril de 2012
Fecha:
30 de abril de 2012
Fecha:
15 de Mayo de 2012

Título: Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustibles para el oeste de Caracas.
Hoja N°
4/7

Proyecto N°
Documento:
DTI 4

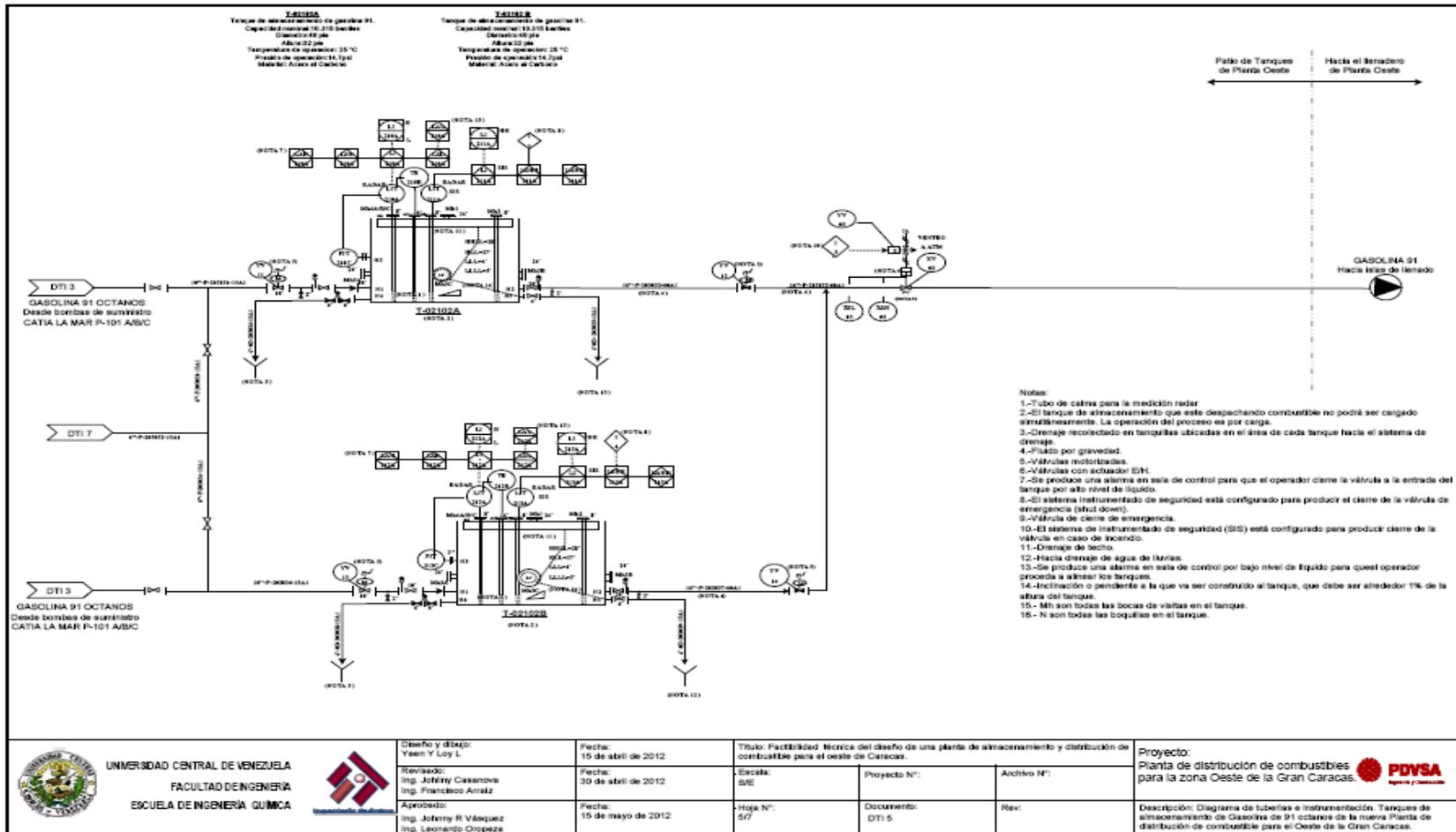
Rev:
Rev:

Archivo N°

Proyecto:
Planta de distribución de combustibles para la zona Oeste de la Gran Caracas.



Descripción: Diagrama de tuberías e instrumentación. Tanques de almacenamiento de Gasolina de 95 octanos de la nueva Planta de distribución de combustible para el Oeste de la Gran Caracas.



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Diseño y DBAQ:
Yaeli Y Loy L.
Revisado:
Ing. Johnny Casanova
Ing. Francisco Anzálz
Aprobado:
Ing. Johnny R Vázquez
Ing. Leonardo Oropeza

Fecha:
15 de abril de 2012
Fecha:
30 de abril de 2012
Fecha:
15 de mayo de 2012

Título: **Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustibles para el oeste de Caracas.**

Escala:
SSE
Hoja N°:
5/7

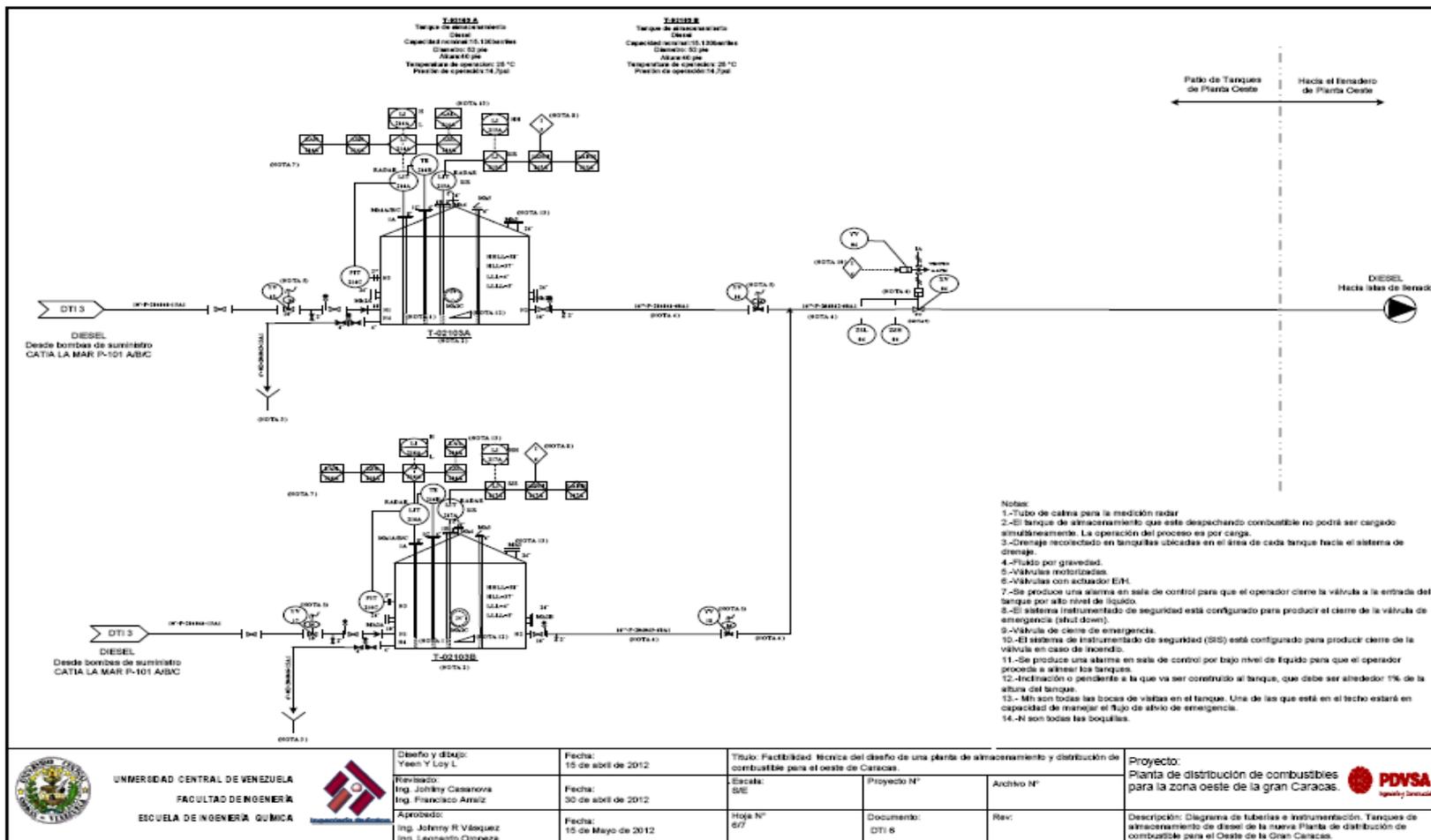
Proyecto N°:
Documento:
DTI 5

Archivo N°:
Rev:

Proyecto:
Planta de distribución de combustibles para la zona Oeste de la Gran Caracas.

PDVSA
Petróleo de Venezuela

Descripción: Diagrama de tuberías e instrumentación. Tanques de almacenamiento de Gasolina de 91 octanos de la nueva Planta de distribución de combustible para el Oeste de la Gran Caracas.



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Diseño y dibujo:
Yoon Y Loy L.
Revisado:
Ing. Johnny Casanova
Ing. Francisco Arnez
Aprobado:
Ing. Johnny R. Viquez
Ing. Leonardo Chopeza

Fecha:
15 de abril de 2012

Fecha:
30 de abril de 2012

Fecha:
15 de Mayo de 2012

Título: Factibilidad técnica del diseño de una planta de almacenamiento y distribución de combustible para el oeste de Caracas.

Escala:
S/E

Hoja N°:
6/7

Proyecto N°:

Documento:
DTI 6

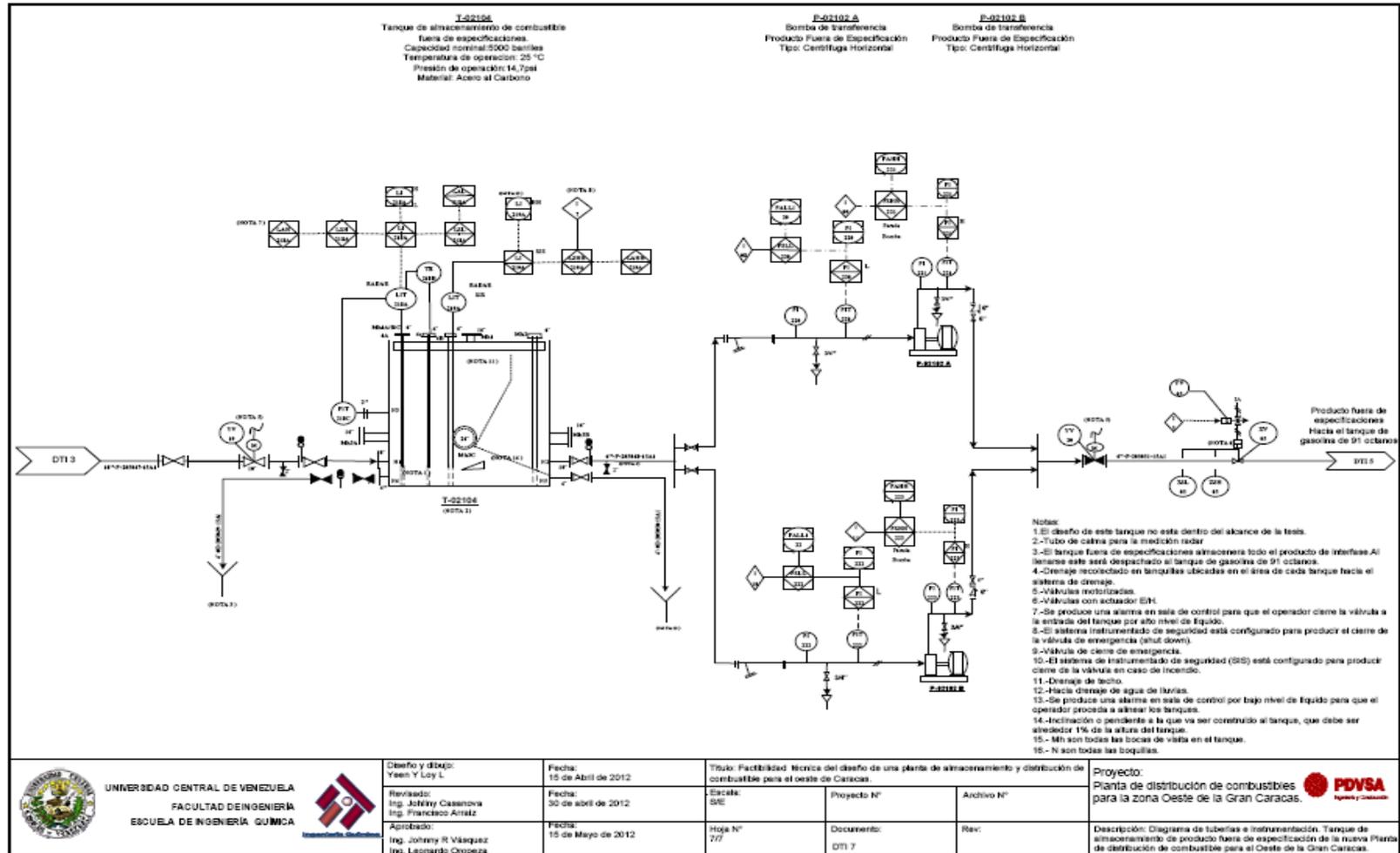
Archivo N°:

Rev:

Proyecto:
Planta de distribución de combustibles para la zona oeste de la gran Caracas.



Descripción: Diagrama de tuberías e instrumentación. Tanques de almacenamiento de diesel de la nueva Planta de distribución de combustible para el Oeste de la Gran Caracas.



CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del presente Trabajo Especial de Grado, en función de los objetivos propuestos:

- La tecnología que se adecuada para el almacenamiento de combustibles en la planta de distribución de combustible para el oeste de Caracas se corresponde a los tanques superficiales convencionales de acero al carbono.
- La tecnología de almacenamiento de combustible en tanques de fibra de vidrio, continúa siendo una alternativa para plantas futuras que no tengan una demanda tan alta como la planta oeste, y cuyo principal problema sea el área para su implantación.
- Mediante una evaluación multi-variable utilizando el método de ponderación lineal se pudo obtener la opción más adecuada para el almacenamiento de combustibles.
- El almacenamiento de gasolina de 91 y 95 octanos será en tanques de techo flotante, y el almacenamiento de diesel será en tanques de techo fijo.
- La evaluación hidráulica arrojó que es necesario 2 bombas centrífugas en operación en paralelo para poder impulsar la demanda en contingencia de la planta oeste.
- Un poliducto de 10'' de diámetro cumple con los criterios establecidos en las normas PDVSA de velocidad y la caída de presión.
- La máxima presión de descarga a nivel de la nueva planta de Catia la Mar para transportar el flujo de diseño (diesel) hasta el patio de tanques de almacenamiento es de 1069,30psig.
- Se emplearan 3 bombas centrífugas para el transporte de combustible. Una de las bombas será de reserva.

RECOMENDACIONES

Este capítulo contempla las recomendaciones propuestas para la optimización o continuación del presente Trabajo Especial de Grado:

- Hacer un estudio detallado de la capacidad del tanque necesaria para el almacenamiento de producto fuera de especificación, sobre la interfase que se genera en los distintos baches que son enviados por el poliductos, para optimizar el área.
- Hacer un estudio económico de la selección de tecnología.
- Hacer el estudio sobre la posibilidad de colocar un tanque de flexibilidad operacional, para el caso de mantenimiento de los tanques, para de esta manera garantizar la operatividad de la planta, sin necesidad de interrupciones en el suministro de combustibles.

BIBLIOGRAFÍA

API RP -14E .“Recomendad Practice for Desing and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems”.

API STANDARD 650. “Welded Tanks for oil storage”. Eleventh edition. June 2007.

Buthod, P (1981). “Pressure Vessel Handbook”.United States of America, pag 108.

Containment solutions (1960). “Fiberglass petroleum tanks for underground storage”. Texas, USA. Pág1 .

DITECH ESTUDIOS Y PROYECTOS(2007). “Proyecto PDV Caribe Planta De Distribución De combustibles San Vicente “.NºPDVCSVG02DP11600.

DITECH ESTUDIOS Y PROYECTOS(2011). “Proyecto Planta de distribución y almacenamiento para el Oeste de la Gran Caracas. Evaluación y Selección del Sitio de Ubicación Definitiva”. N° Documento BB011034-PI0C3-GD09004.

DITECH ESTUDIOS Y PROYECTOS(2011). “Proyecto Planta de distribución y almacenamiento para el Oeste de la Gran Caracas. Almacenamiento de combustible”. N° Documento BB011034-PI0C3-GD15001.

GEOHIDRA CONSULTORES C.A. (2008). “Planta de distribución de combustible nueva cantina”. N° CYSIPCDV-10-1-PD-IC-A-IN-001. Página 5.

Industrias fibratank UST C.A.(2002). “Tanque de doble pared, ventajas ambientales”. Pag 1

INTEVEP, S.A. (2001). Deltaven S.A, análisis cuantitativo de riesgo (ACR) de diesel mediano. Rev.1.

INTEVEP, S.A.(2001) Deltaven S.A, análisis cuantitativo de riesgo (ACR) de gasolina sin plomo (todos los grados). Rev.1.

INTRODUCTION TO PIPEPHASE. Training workbook. Simsci Simulation Sciences inc.1996,1997.601 Valencia Avenue, Suite 100, Brea, CA 92823, USA.

LA EMPRESA AB PROYECTOS E INSPECCIONES. (2010)“Proyecto Nueva Planta de distribución de combustible Catia La Mar”. N°129110100M103001.

Manual Ingeniería de Diseño (L-TP-1.5). Calculo Hidráulico De Tuberías PDVSA. 1994.

Mayol, A (1999). “PDVSA Guías de gerencia para proyectos de inversión de capital”. Caracas, rev 1.

Minnesota pollution control agency (MPCA).

<http://www.regionalrealty.com/pdf/Heatieng%20oil%20Sep%202008.pdf>.

Consultado : 23 de Junio de 2011.

Mott, Robert L (2006). “Mecánica de fluidos”.(Sexta edición).México, Pearson educación. Págs : 236, 237, 382-419.

McNaughton, Kenneth (1974). “Bombas selección, uso y mantenimiento”.(1ra edición). México, Mc Graw Hill. Págs: 30 y 31.

Office of underground Storage Tanks (Oust). Estados Unidos. <http://www.epa.gov/oust/>. Consultada: 25 de Junio de 2011.

PDVSA(1983). “Manual de procedimiento mejores prácticas. Selección de tecnología”. N° SCIP-MP-G-08-P.

Perry, R. & Green, D. (2001). “Manual del Ingeniero Químico, Diseño de tanques”. (4ta. Ed, Vol.I) Mc Graw Hill: España.

Xerxes. Estados Unidos, <http://www.xerxes.com>. (Consultada: 20 de junio de 2011).

Xerxes, Corporation (2009). “Fiberglass underground petroleum storage tank”. Cánada, pág 1