

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA HIDRÁULICO
QUE OPERA EL MÚLTIPLE DE VÁLVULAS SUBMARINAS
DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE (TOJ)**

REALIZADO POR:

Br. Roselis María Machado García

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente
como requisito parcial para Optar al Título de:**

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, Junio de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA HIDRÁULICO
QUE OPERA EL MÚLTIPLE DE VÁLVULAS SUBMARINAS
DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE (TOJ)**

ASESORES:

Prof. Johnny Martínez
(ASESOR ACADÉMICO)

Ing. Ramón Castillo
(ASESOR INDUSTRIAL)

Barcelona, Junio de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA HIDRÁULICO
QUE OPERA EL MÚLTIPLE DE VÁLVULAS SUBMARINAS
DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE (TOJ)**

Jurado:

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

Prof. Johnny Martínez
(Asesor académico)

Prof. Carlos Da Silva
(Jurado principal)

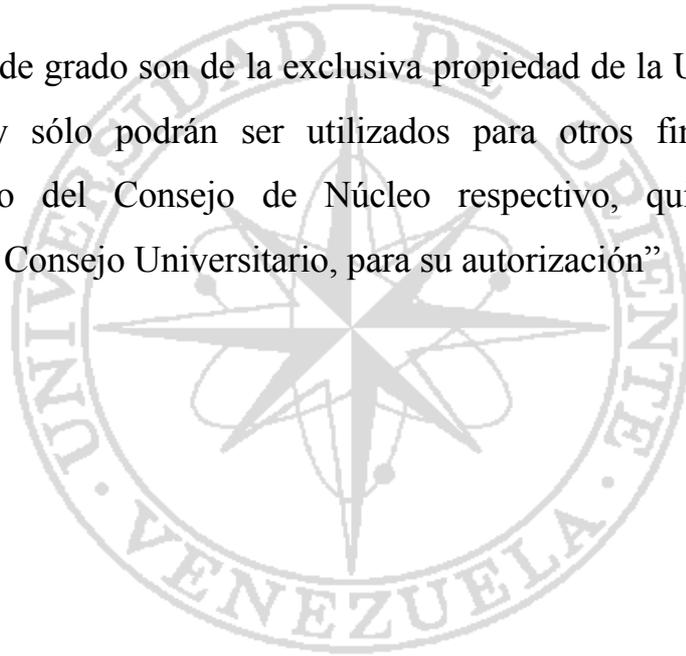
Prof. José E. Rengel
(Jurado principal)

Barcelona, Junio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo al Consejo Universitario, para su autorización”



DEDICATORIA

Este trabajo de grado que me está permitiendo dar por finalizada una de las etapas más importante de mi vida, quiero dedicárselo antes que nada a Dios Todopoderoso y a la virgen de Valle, pues con su ayuda suprema y su energía poderosa me permitieron no caer y seguir adelante ante los obstáculos y problemas. Ahora sé que con fe se puede mover hasta la montaña más grande, y que la confianza ayuda a caminar sin mirar atrás. Gracias Dios, por haberme permitido lograr la meta más grande de mi vida hasta los momentos. Y a ti virgen del Valle gracias por haberme acogido como una madre lo hace con su hijo en el momento que más lo necesité y te pedí ayuda. A mi **mamá** Roselia García, quiero dedicarte muy especialmente este trabajo porque sé que sin ti y tus sabios consejos no hubiese podido lograr esto, pues nadie mejor que tu sabe por lo que tuve que pasar para llegar hasta aquí. A mi **papá**, Jorge Machado y a mi **hermana** Rosmelis les dedico este trabajo de grado por siempre haber estado a mi lado apoyándome y ayudándome en todo lo que necesité, gracias por todos aquellos momentos en que siempre estuvieron para darme un consejo y enseñarme lo que necesite. A ti **Eloísa García (Abuela)** por siempre estar conmigo acompañándome no físicamente pero si sentimentalmente y espiritualmente. A ti **Juan Carlos Rodríguez Subero** (Mi precioso) te dedico esto porque siempre estuviste conmigo en las buenas y las malas aguantándome en todo momento como un gran amigo y novio, por eso te dedico este pedazo de mí con todo mi corazón. A todas aquellas personas que siempre estuvieron conmigo ayudándome y apoyándome cuando más lo necesite.

**“A MENOS QUE CREAS EN TI MISMO, NADIE
LO HARÁ, ÉSTE ES EL CONSEJO QUE CONDUCE AL ÉXITO”**



AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer a Dios porque sé que siempre tendió su mano divina para ayudarme a lograr este sueño tan anhelado.

A mis padres, agradezco primero que nada el haberme dado la vida, el haberme cuidado y protegido sobre todas las cosas, en segundo instante les agradezco el haberme brindado educación, inculcado valores y principios y el haberme convertido en una mujer de bien, porque lo que soy se los debo a ustedes, ahora sé que la herencia más grande que me pueden dejar ustedes son mis estudios. A mi **mamá** le agradezco el no haberme dejado nunca sola, el haberme apoyado incondicionalmente y sobre todo el tener siempre la palabra correcta en el momento indicado, pues sé que para mi eres la mejor mamá del mundo, y si yo muriera y naciera de nuevo quisiera que tú fueras otra vez mi mamá, porque sé que sin tu ayuda no hubiese podido lograr esto, gracias. A mi **papá** quiero agradecer sus consejos y sus conocimientos los cuales me sirvieron siempre para tomar la decisión correcta, sin olvidar lo que soy y de donde vengo. **Los amo mucho.**

A Mi hermana, le agradezco su ayuda y el haberme escuchado en los momentos que más la necesité. Tu presencia fue importante e imprescindible para mí. Te quiero mucho.

A mi abuela, sé que ya no estás aquí conmigo en forma física pero sé que siempre me acompañas a donde voy, sé que me cuidas y proteges, y haz sido un pilar importante para la culminación de este sueño. Me hubiese gustado que me vieras cumpliendo esta etapa de mi vida tan importante para mí, pero sé que de donde estás me estarás viendo lograr el sueño más anhelado de mi vida. Gracias abuela por estar conmigo cuando lo necesité, porque sé que eres tu quien me cuida.

A mi **familia**, muy especialmente a mis primos **Migdalys** y **Miguel Marcano** porque más que primos son como hermanos, que siempre estuvieron conmigo compartiendo y ayudándome en todo. Gracias por estar ahí siempre.

A **Juan Carlos Rodríguez S.** A quien le agradezco su compañía, su amistad, su amor y el no haberme dejado nunca sola, por ser el mejor amigo del mundo, el mejor novio y el mejor compañero de clases, gracias por ser la compañía más bonita en la universidad y en mi corazón. Sé que eres y siempre serás uno de los recuerdos más bonitos de mi vida, ya que más que un novio, eres el amigo en quien siempre puedo confiar porque sé que nunca dejarás de tenderme la mano. Te Amo mi amor.

A la familia **Rodríguez Subero**, a quien le agradezco su compañía, consejos y ayuda en todos los momentos que los necesité, son una familia para mi, besos a todos.

Al profesor **Johnny Martínez**, quiero agradecer tantos conocimientos como enseñanzas, ya que estos últimos meses dejó de ser solo un profesor y se convirtió en un amigo más para mí, pues todos sus consejos y regaños dieron un buen fruto, este trabajo de grado. Gracias

A todos los **Profesores del Departamento de Mecánica**, les agradezco todos sus conocimientos y enseñanzas, ya que sin ellos esta meta no la hubiese podido lograr. Quiero agradecer especialmente a los profesores **Luis Martínez** y **Rómulo Nottaro**, ya que más que profesores fueron amigos incondicionales para mi, gracias por sus enseñanzas. Dios los bendiga.

A mis amigos, **Manuel López**, **Numan Perales**, **Robert Centeno**, **Gabriela Velozo**, **José Campanudo**, **Sergio Goschenko**, **Karla Rodríguez**, **Johana Rodríguez**, **Carlos Luis Rodríguez**, **José G. Rodríguez** y **Luis Cedeño** por siempre estar conmigo y haberme ayudado en los momentos más difíciles.

A **Jesús González, Erasmo Farfan (El abuelo), Rafael Rizaes (Cat), Javier Quijada, Luis Alcocer, Franklin Moreno, Eduardo Ontiveros, José Noriega y Nelson Salcedo** mis compañeros del Terminal Oriente Jose, agradezco todos sus conocimientos y enseñanzas, gracias por haberme tratado como lo hicieron y haberme hecho sentir parte de la familia del TOJ. Especialmente quiero agradecer a **Wilfredo García**, porque muchos de los conocimientos y enseñanzas que adquirí en el campo laboral se los debo a él, es una excelente persona y compañero de trabajo. Muchas gracias por siempre tener una palabra de aliento y un chiste para cuando el desánimo estaba ahí presente. También agradezco especialmente a **Argenis Rodríguez**, quien más que un compañero de trabajo fue un amigo y estuvo ayudándome cuando lo necesite. Gracias por todo eres un buen amigo. A todos Dios los bendiga. A **Ramón Castillo**, mi Asesor industrial muchas gracias por todo el apoyo y por la ayuda brindada para culminar satisfactoriamente esta etapa tan importante de mi vida.

A todas aquellas personas que forman parte de mi vida y que no por ser menos importantes dejé de mencionar. También dedico este trabajo de grado a todas aquellas personas que nunca me desearon lo mejor pero que con su actitud, deseos y trato me dieron mayor fortaleza, fuerza y mayores ganas de vencer y seguir adelante para lograr esta meta tan importante para mí y mis padres. Por eso también doy gracias.

POR ÚLTIMO, GRACIAS A TODOS LOS QUE ME QUIEREN Y SIEMPRE ME HAN DESEADO LO MEJOR. BESOS LOS QUIERO MUCHO!!!!!!!

RESUMEN

El presente trabajo consistió en un estudio de las posibles mejoras al sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), con el propósito de lograr un mejor funcionamiento del mismo al momento de realizar la apertura y cierre de las válvulas del PLEM (Pipe Line End Manifold). Para ello se realizó un levantamiento in situ y comprobación en los planos de las características principales de los equipos y accesorios del sistema. Una vez recopilada la información necesaria se evaluaron hidráulicamente las condiciones actuales y de diseño del sistema hidráulico, con la ayuda de un programa comercial de simulación (PIPEPHASE), donde los resultados permitieron establecer las siguientes propuestas de mejoras: Recarga de las bombonas de nitrógeno del sistema hidráulico, utilización de un aceite de menor viscosidad, instalación de una bomba hidráulica conectada al tanque de retorno y mejoramiento del Sistema de telemetría. De acuerdo, al estudio hidráulico realizado algunas de las conclusiones, a las que se llegó, fueron: con el uso del aceite Shell Tellus oil 22 se mejoran las presiones de trabajo del sistema hidráulico garantizando en el PLEM una presión de 100,67 bar (1460,1 psi) para realizar la apertura y/o cierre de las válvulas submarinas. El sistema de telemetría propuesto deberá estar asociado a los controladores de proceso ubicados en la Torreta y Cubierta de la Monoboya, los cuales reportarán al sistema SCADA ubicado en la sala de control del Terminal Oriente Jose. Finalmente, se recomendó colocar sistemas de medición de caudal en los acumuladores, panel y tanque de almacenamiento de aceite.

GLOSARIO

ANSI	American National Standards Institute. Instituto Nacional de Normas de Estados Unidos.
API	American Petroleum Institute. Instituto Americano de petróleo
ASTM	American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
Atraque	Proceso de poner un buque en posición correcta y estacionaria, en relación a la boya y preparada para el amarre.
Buque Tanque	Nave de gran tamaño propia para la navegación de altura, destinada al transporte de hidrocarburos
CALM	Catenary Anchor Leg Mooring. Sistema de amarre de la Monoboya al fondo marino por medio de cadenas con configuración de catenaria cada una.
ISA	Instrument Society of América. Sociedad Americana de instrumentación
Milla Náutica	Medida de distancia, equivalente a 1,82 km.
Monoboya	Estructura auto flotante que sirve para que se amarren los buques tanques y a través de ella se carga o descarga hidrocarburos.

Nudo	Medida de velocidad usada frecuentemente para medir la velocidad de una embarcación. Nudo = Milla/h
OCIMF	Oil Companies International Marine Forum. Publica documentos técnicos para diseño, operación y mantenimiento de Monoboyas y sus componentes.
Operaciones	El cargue, descargue o trasiego de petróleo o lastre, la limpieza de tanques, la liberación de gases, el muestreo y todas las demás actividades auxiliares.
Petróleo	Líquido oleoso constituido por una mezcla de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos.
PLEM	Pipe Line End Manifold. Múltiple del extremo del oleoducto submarino, donde se conecta el oleoducto y las mangueras submarinas que conectan la Monoboya.
PTO	Siglas que identifican a la instalación “Patio Tanques Oficina”
TOJ	Siglas que identifican a la instalación “ Terminal Oriente Jose”
UHF	Ultra High Frequency. Ultra Alta Frecuencia
SPM	Single Point Mooring. Amarre de un solo punto
UPS	Uninterruptible Power Supply. Suministro de energía ininterrumpible.
UTM	Universal Transverse Mercator. “Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator”. Sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica que se construye como la proyección de Mercator, en vez de hacerla tangente al Ecuador se hace tangente a un meridiano. El sistema UTM implica el uso de escalas no lineales para las coordenadas X e Y (longitud y latitud cartográficas) para asegurar que el mapa proyectado resulte conforme.

CONTENIDO

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	ix
GLOSARIO	X
CONTENIDO	xi
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABLAS	xxi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA	1
1.1.1 Ubicación geográfica del Terminal Oriente Jose (TOJ)	3
1.1.2 Descripción general del área en estudio.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.2.1 Monoboya- SPM (Single Point Mooring)	11
2.2.2 Múltiple Submarino (PLEM)	15
2.2.3 Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)	16
2.2.3.1 Condiciones de diseño de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)	19
2.2.4 Características del PLEM y de las mangueras flotantes de Monoboya de Terminal Oriente Jose (TOJ)	19
2.2.5 Características de la Torreta	21

2.2.6	Sistema Hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)...	21
2.2.6.1	Sistema de presión y drenaje de aceite del Sistema Hidráulico de la Monoboya del TOJ	22
2.2.6.1.1	Función del Sistema Hidráulico de la Monoboya del TOJ en conjunto con las válvulas del PLEM.....	24
2.2.6.2	Sistema de control de válvulas	25
2.2.6.3	Umbilical	26
2.2.6.4	PLEM	27
2.2.7	Acumuladores	27
2.2.7.1	Acumulador de Tipo Pistón	27
2.2.8	Válvulas hidráulicas	28
2.2.8.1	Válvulas Solenoides	29
2.2.9	Depósito de fluido hidráulico (tanque)	30
2.2.10	SCADA	31
2.2.10.1	Unidad de Terminal Remota (UTR o RTU)	31
2.2.11	Sistema de Telemetría	32
2.2.12	Normas	34
2.2.13	PIPEPHASE VERSIÓN 8.1	34
	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	36
	3.1 INTRODUCCIÓN	36
	3.2 DESARROLLO DEL TRABAJO	38
3.2.1	Revisión Bibliográfica	38
3.2.2	Levantamiento de los planos del sistema hidráulico de las válvulas submarinas que opera el múltiple (PLEM)	38
3.2.3	Comprobación en sitio de las características principales de los equipos del sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose	39
3.2.3.1	Sistema de Presión	40
3.2.3.2	Sistema de drenaje de aceite	41
3.2.3.3	Sistema Controlador de Válvulas	41
3.2.3.4	Umbilical	42
3.2.3.5	PLEM (Pipe Line End Manifold)	43

3.2.4	Determinación de los requerimientos operacionales del sistema hidráulico actual de la Monoboya del Terminal Oriente Jose	44
3.2.4.1	Presión de Salida de aceite	47
3.2.5	Realización de un estudio hidráulico del sistema actual que opera las válvulas submarinas de la Monoboya mediante el uso de un programa comercial.....	49
3.2.6	Estudio de las posibles mejoras del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM de la Monoboya del Terminal Oriente Jose	50
3.2.7	Establecimiento de algunas estrategias de mantenimiento para mejorar el desempeño del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM	50
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		51
4.1	LEVANTAMIENTO DE PLANOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LAS VÁLVULAS SUBMARINAS QUE OPERA EL PLEM	51
4.1.1	Resultados del levantamiento para las bombonas de nitrógeno, los acumuladores de aceite y el panel de control	52
4.2	COMPROBACIÓN EN PLANOS Y SITIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MONOBOYA.....	56
4.2.1	Características de los equipos y componentes del sistema de telemetría	61
4.2.1.1	Equipos de Alarma	61
4.2.1.2	Equipos de automatización	62
4.2.1.3	Equipos de Telecomunicaciones	63
4.2.1.4	Equipos de Energía	65
4.3	CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO	67
4.3.1	Determinación de la presión de salida del aceite disponible para transportar el aceite hidráulico hacia el panel de control	68
4.4	ESTUDIO HIDRÁULICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO	69

4.4.1	Simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico	69
4.4.2	Simulación de las condiciones de diseño según el fabricante (Bluewater)	73
4.5	PROPUESTAS DE MEJORAS PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE	79
4.5.1	Recarga de las bombonas de nitrógeno del sistema hidráulico	81
4.5.2	Cambio de aceite	81
4.5.3	Instalación de una bomba conectada al tanque de retorno	84
4.5.3.1	Selección del equipo de bombeo adecuado	85
4.5.3.2	Bomba seleccionada	88
4.5.4	Mejoramiento del Sistema de Telemetría	90
4.5.4.1	Sistema de Telemetría Propuesto.....	90
4.5.4.1.1	Integración del sistema de telemetría con el sistema hidráulico..	91
4.5.4.1	Condiciones Generales	92
4.5.4.2	Requerimientos eléctricos de diseño y requerimientos ambientales	93
4.5.4.3	Estructuración de la propuesta	93
4.5.4.3.1	Selección de las RTUs	94
4.5.4.3.2	Estudio de Enlaces de Comunicación	96
4.5.4.3.3	Integración con el SCADA	97
4.5.4.4	Condición de Operación Normal	101
4.5.4.5	Modo de Operación Remoto	102
4.5.4.6	Modo de Operación Local	102
4.5.4.7	Condición de apagado	102
4.5.4.8	Condiciones de Alarma	102
4.5.4.9	Seguridad	103
4.5.3.10	Panel de Supervisión de servicios y estados de operación de la Monoboya	103
4.6	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LOS EQUIPOS DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE	106

CAPÍTULO 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1 CONCLUSIONES	108
5.2 RECOMENDACIONES.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	111
APÉNDICE A. EJEMPLOS DE CÁLCULOS	115
A.1 Determinación de la ecuación general de la altura de la bomba en función de la presión en la descarga	115
A.2 Cálculo con el NPSH disponible y comparación con el NPSH requerido por la bomba seleccionada	117
A.3 Cálculo de la velocidad crítica para el gas Nitrógeno	118
APÉNDICE B.PLANOS ISOMÉTRICOS.....	120
APÉNDICE C. EMPLEO DEL SIMULADOR PIPEPHASE Y OTROS	123
C.1 Empleo del simulador PIPEPHASE versión 8.1	127
C.1.1 Creación de la Simulación	127
C.1.2 Modelo de fluido	128
C.1.3 Ajuste de las Unidades de medida	128
C.1.4 Introducción de los datos PVT o Termodinámicos	130
C.1.5 Terminología del Diagrama de Flujo	130
C.1.5.1 Fuentes	131
C.1.5.2 Unión	131
C.1.5.3 Sumideros	132
C.1.5.4 Enlaces	132
C.1.5.4.1 Elementos Constitutivos de un enlace.....	133
APÉNDICE D. PLANOS MECÁNICOS	137
APÉNDICE E. TABLAS DE RESULTADOS	151
APÉNDICE F. RESUMEN DE NORMAS USADAS	154
APENDICE G. CATÁLOGOS	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema de Transporte de Orimulsión	2
Figura 1.2	Ubicación del Terminal Oriente Jose	3
Figura 1.3	Diagrama del Terminal Oriente Jose (TOJ)	4
Figura 1.4	Características técnicas de la Monoboya	5
Figura 2.1	Amarre de buque a la Monoboya	11
Figura 2.2	Partes de una Monoboya tipo SPM	12
Figura 2.3	Partes de una Monoboya vista desde sus partes interna	14
Figura 2.4	Diferentes vistas del PLEM	16
Figura 2.5	Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)	17
Figura 2.6	Transferencia de crudo desde la Monoboya hacia un buque.....	20
Figura 2.7	Representación del sistema hidráulico del TOJ	22
Figura 2.8	Bombonas de nitrógeno y Acumuladores de aceite	23
Figura 2.9	Panel de Control	24
Figura 2.10	Umbilical del Sistema Hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)	25
Figura 2.11	Acumulador de pistón	27
Figura 2.12	Válvula solenoide de dos vías	28
Figura 2.13	Depósito de aceite del Sistema Hidráulico	29
Figura 2.14	Topología del SCADA del Terminal Oriente Jose (TOJ)	32
Figura 2.15	Esquema de las principales características de PIPEPHASE.....	34
Figura 3.1	Diagrama de flujo de las etapas seguidas en la metodología del proyecto	36
Figura 3.2	Puntos de óxido encontrados en la pared de uno de los acumuladores tipo pistón	40
Figura 3.3	Panel de Control	41
Figura 3.4	Buzos durante la operación de apertura de las válvulas de PLEM ...	44
Figura 3.5	Representación esquemática del acumulador tipo pistón	46
Figura 4.1	Plano isométrico para las bombonas de nitrógeno del sistema	53

	hidráulico	
Figura 4.2	Plano Isométrico para los acumuladores de aceite del sistema hidráulico	54
Figura 4.3	Plano Isométrico para los acumuladores de aceite hacia el panel	55
Figura 4.4	Paneles solares de la Monoboya del TOJ	67
Figura 4.5	Diagrama de Simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde las bombonas de N ₂ hacia los acumuladores.....	70
Figura 4.6	Diagrama de Simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control.....	72
Figura 4.7	Diagrama de Simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde las bombonas de N ₂ hacia los acumuladores.....	74
Figura 4.8	Diagrama de Simulación de las condiciones diseño del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control.....	76
Figura 4.9	Diagrama de simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde el panel hasta el PLEM.....	78
Figura 4.10	Simulación del sistema hidráulico desde los acumuladores hasta el PLEM.....	82
Figura 4.11	Punto de operación de la Bomba propuesta.....	86
Figura 4.12	Curvas Características de la Bomba SIHI 400090.....	87
Figura 4.13	Diagrama de arreglo de la bomba	89
Figura 4.14	Representación de los equipos ubicados en la Monoboya y Sala de control (SCADA S/3)	97
Figura 4.15	Ventana de comando SCADA S/3de las válvulas del PLEM	101
Figura 4.16	Panel para la supervisión de servicios y estados de operación de la Monoboya	104
Figura 4.17	Sistema de Telemetría Propuesto	105
Figura A.1	Arreglo de la bomba propuesta	115
Figura C.1	Monoboya del Terminal Oriente Jose	123
Figura C.2	Acumuladores de aceite y Bombonas de Nitrógeno	123
Figura C.3	Conexión entre las bombonas de nitrógeno actuales y los acumuladores de aceite	124

Figura C.4	Tuberías superiores conectadas a los acumuladores simulados	124
Figura C.5	Tuberías inferiores conectadas a los acumuladores simulados	125
Figura C.6	Bombonas de Nitrogeno pertenecientes al sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose	125
Figura C.7	Panel de Control	126
Figura C.8	Conectores del Umbilical para cada válvula del PLEM, conectados al panel del control	126
Figura C.9	Ventana para seleccionar el tipo de simulación	127
Figura C.10	Ventana para seleccionar el tipo de fluido	128
Figura C.11	Ventana para seleccionar el sistema de unidades	129
Figura C.12	Ventana para cambiar las unidades de las variables que se deseen	129
Figura C.13	Ventana para introducir los datos Termodinámicos	130
Figura C.14	Ventana para introducir los datos de la fuente	131
Figura C.15	Ventana para introducir los datos del sumidero	132
Figura C.16	Ventana para introducir los datos de la tubería	133
Figura C.17	Ventana para introducir los datos de los codos	134
Figura C.18	Ventana para introducir los datos de las tees	135
Figura C.19	Ventana para introducir las válvulas.....	135
Figura .C.20	Esquema ilustrativo del sistema hidráulico.....	136
Figura F.1	Simbología a emplear en planos y dibujos de representación de instrumentos en procesos industriales	157
Figura F.2	Símbolos generales y símbolos para válvulas de control utilizados en los planos	158
Figura F.3	Símbolos para válvulas de control utilizados en los planos	159
Figura F.4	Símbolos para actuadores utilizados en los planos.....	160

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Condiciones ambientales de operación de la Monoboya del TOJ.....	18
Tabla 3.1	Características geométricas de la Tubería del Sistema hidráulico...	38
Tabla 3.2	Partes que conforman el sistema hidráulico de la Monoboya.....	39
Tabla 3.3	Características de Sistema de Presión	39
Tabla 3.4	Características y estado físico del Umbilical	42
Tabla 3.5	Mediciones de presión cuando el sistema hidráulico se pone en funcionamiento	44
Tabla 3.6	Temperaturas del aceite en el acumulador pistón	45
Tabla 3.7	Propiedades del aceite hidráulico utilizado por el sistema hidráulico de la Monoboya	46
Tabla 3.8	Condiciones de diseño para los acumuladores y Bombonas de Nitrógeno	49
Tabla 4.1	Características de las tuberías conectadas a las bombonas de Nitrógeno	53
Tabla 4.2	Características de las tuberías conectadas a los Acumuladores	54
Tabla 4.3	Características de las tuberías conectadas desde los acumuladores hacia el Panel de Control	56
Tabla 4.4	Características principales de los acumuladores de aceite tipo pistón	57
Tabla 4.5	Características principales de las bombonas de nitrógeno	57
Tabla 4.6	Características principales de las válvulas solenoides direccionables	58
Tabla 4.7	Características principales de las válvulas de bola submarinas de 24” y 36” ubicadas del PLEM	59
Tabla 4.8	Características técnicas de la Bomba manual.....	60
Tabla 4.9	Características técnicas de la Bomba aire-líquido	60

Tabla 4.10	Características de los equipos de alarma ubicados en la cubierta	61
Tabla 4.11	Características de la RTU de la Cubierta	62
Tabla 4.12	Características de la RTU de la Torreta	62
Tabla 4.13	Características de la RTU ubicada en sala de Control	63
Tabla 4.14	Características de la Antena omnidireccional de 3db y radio ubicados en la cubierta	64
Tabla 4.15	Características de la Antena y radio ubicados en la Torreta	64
Tabla 4.16	Características de la Antena y radio ubicados en Sala de Control	65
Tabla 4.17	Características del equipo de electricidad ubicado en la torreta...	66
Tabla 4.18	Características del equipo de electricidad ubicado en la cubierta .	66
Tabla 4.19	Requerimientos Operacionales del Sistema hidráulico para simular las condiciones actuales	68
Tabla 4.20	Presiones del Sistema Hidráulico para simular las condiciones actuales.....	69
Tabla 4.21	Valores obtenidos por el simulador PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde las bombonas hacia los acumuladores.....	71
Tabla 4.22	Valores obtenidos por el simulador PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel.....	73
Tabla 4.23	Valores obtenidos por el simulador PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde las bombonas hacia los acumuladores.....	75
Tabla 4.24	Valores obtenidos por el simulador PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel.....	77
Tabla 4.25	Valores obtenidos por el simulador PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde el panel hacia el PLEM.....	79
Tabla 4.26	Propiedades del aceite Shell Tellus Oil 22	81
Tabla 4.27	Comporación entre las presiones con el aceite propuesto y las condiciones de diseño en el sistema hidráulico de los acumuladores.....	83
Tabla 4.28	Comporación entre las velocidades y los caudales de aceite para las condiciones de diseño y el aceite propuesto en el sistema hidráulico de los acumuladores.....	84

Tabla 4.29	Características de la bomba propuesta Centrífuga propuesta	88
Tabla 4.30	Características de la Bomba de desplazamiento positivo propuesta.....	89
Tabla 4.31	Requerimientos eléctricos de diseño	93
Tabla 4.32	Requerimientos Ambientales	93
Tabla 4.33	Cantidad de entradas y salidas de la RTU	94
Tabla 4.34	Características de las RTU seleccionadas	95
Tabla 4.35	Especificaciones del Radio Modem SRM6000.....	96
Tabla 4.36	Señales para operar desde la UR1 (Cubierta)	98
Tabla 4.37	Accionamiento local desde la UR2 (Torreta)	98
Tabla 4.38	Accionamiento remoto desde el SCADA S/3 (Sala de Control)	99
Tabla 4.39	Estado de operación de las válvulas del PLEM	100
Tabla E.1	Características de los tramos de tubería que están conectados a las bombonas de nitrógeno	151
Tabla E.2	Características de los tramos de tubería que están conectados a los acumuladores de aceite	152
Tabla E.3	Características de los tramos de tubería que están conectados desde los acumuladores de aceite hasta el panel de control.....	153

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

*Educar no es dar carrera para vivir,
sino temprar el alma para
las dificultades de la vida.*
PITÁGORAS

En este capítulo se realiza una descripción general tanto de la empresa como del área en estudio, seguidamente se plantea la problemática que da origen a este trabajo, así como los objetivos que han de ser cumplidos.

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

En Agosto de 1988, se creó la empresa Bitúmenes del Orinoco (BITOR S.A) filial de PDVSA, con el propósito de desarrollar los recursos bituminosos de la Faja Petrolífera del Orinoco y satisfacer las crecientes necesidades de energía del momento. BITOR S.A fue la responsable de desarrollar, producir y comercializar internacionalmente su marca de combustible Orimulsión, siendo necesario la construcción de la infraestructura para el transporte y embarque de 150 Miles de Barriles Diarios (MBD) del mismo. En 1994, surgió la Gerencia Terminal Orimulsión José (TOJ), encargada de dirigir y operar las actividades asociadas al transporte, almacenamiento y embarque del combustible, la misma al transcurrir de los años pasó a manos de diferentes gerencias de PDVSA hasta que en el año 1999, finalmente pasó a pertenecer directamente a BITOR S.A.

El proceso para mejorar el crudo extrapesado se iniciaba en las instalaciones de Morichal (Sur del Estado Monagas), donde se recibía el crudo extraído del área de Cerro Negro y se enviaba a través del oriducto de 303,5 km de extensión hasta el

Terminal Orimulsión José (TOJ) (Ver Fig. 1.1), donde luego era tratado para convertirlo en una emulsión estable de bitumen en agua (Orimulsión).

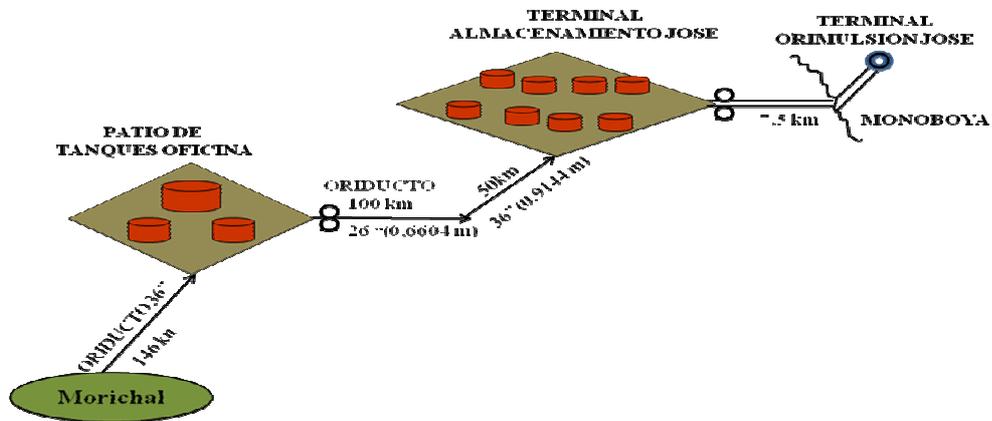


Figura 1.1. Sistema de Transporte de Orimulsión.

En el año 2003, PDVSA BITOR fue reestructurada y su parte operacional se incorporó a la División de PDVSA Oriente. La planta de Morichal y la estación de bombeo de Patio Tanques Oficina (PTO) pasó a manos de la Gerencia de Coordinación Operacional, el Oriducto a la Gerencia de Manejo de Crudo y el Terminal Orimulsión Jose (TOJ) pasó a manos de la Gerencia de Refinación Oriente. En ese mismo año se inició la construcción de una planta de mejoramiento de crudo para la obtención de Orimulsión en las inmediaciones del Terminal Orimulsión Jose por parte de la corporación chino-venezolana SINOVENSA; la cual a principios del año 2006 produjo su primer despacho de Orimulsión hacia los tanques de almacenamiento del Terminal Orimulsión Jose.

El 25 de septiembre de 2006, en virtud de la nueva política energética de la República Bolivariana de Venezuela, basada en la valorización del petróleo no convencional y del régimen fiscal, se detuvo el negocio de la Orimulsión, por la baja rentabilidad y el escaso aporte fiscal que generaba para la República. Por lo que, en el mismo año PDVSA, a través de su Junta Directiva, tomó la decisión de abandonar la manufactura de Orimulsión, optando por el almacenamiento y exportación de Crudo Merey 16 API, por las facilidades de diseño del TOJ y las

ventajas competitivas de este tipo de producto en el mercado internacional. Es por ello, que a partir del año 2007 el Terminal pasó a denominarse Terminal Oriente Jose (TOJ).

1.1.1 Ubicación geográfica del Terminal Oriente Jose (TOJ)

El Terminal Oriente Jose se encuentra localizado dentro del Complejo Industrial, Petrolero y Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui, el cual se encuentra ubicado entre la ciudad de Barcelona y Píritu. El Terminal Oriente Jose se encuentra específicamente entre el Terminal de Almacenamiento y embarque (TAEJ) y la empresa SINOVENSA. En la Fig 1.2 se puede observar las instalaciones del Complejo así como la ubicación del Terminal Oriente Jose.

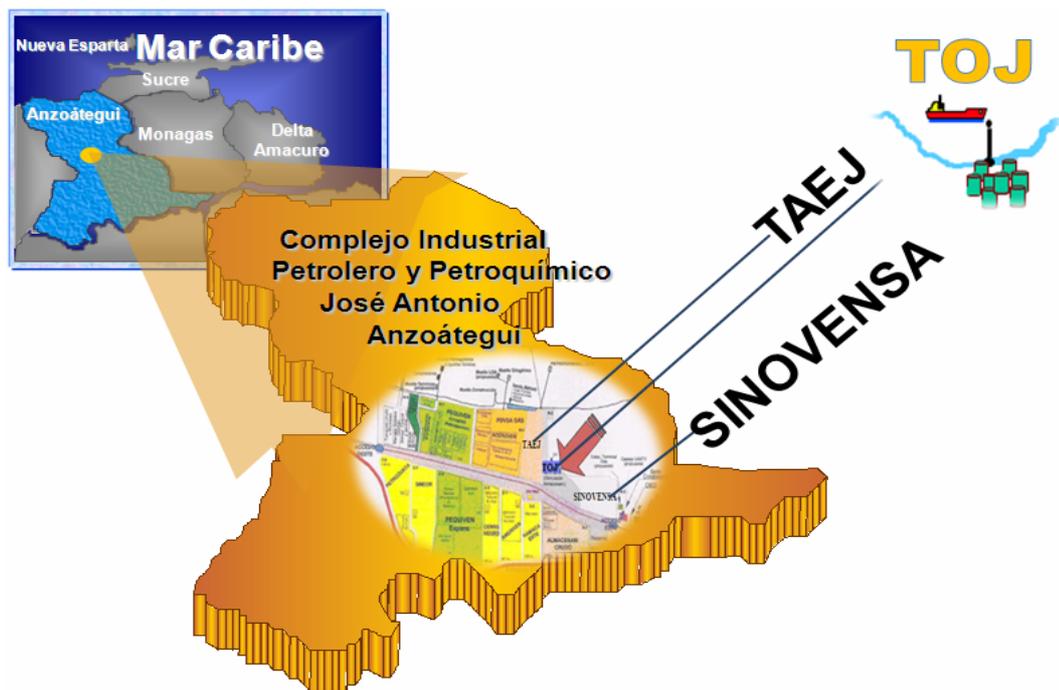


Figura 1.2. Ubicación del Terminal Oriente Jose (TOJ).

1.1.2 Descripción general del área en estudio

El trabajo a desarrollar tiene como área de estudio el Terminal Oriente Jose (TOJ), el cual está constituido de la siguiente manera (Ver Fig. 1.3):

- Un patio de tanques para el almacenamiento de 2 millones de barriles, distribuidos en 8 tanques de techo fijo de 250.000 barriles cada uno.
- Una estación de bombeo formada por 15 bombas de doble tornillo helicoidales Warren 3830 FSXA de iguales características. Capacidad de bombeo de 60.000 barriles por hora.
- Una instalación en aguas profundas para la carga de tanqueros de alto calado denominado Sistema de Amarre de un Sólo Punto (Single Point Mooring) conocido como Monoboya, la cual es de tipo CALM (Catenary Anchor Leg Mooring). En la Fig. 1.4 se pueden ver las características técnicas de la misma.

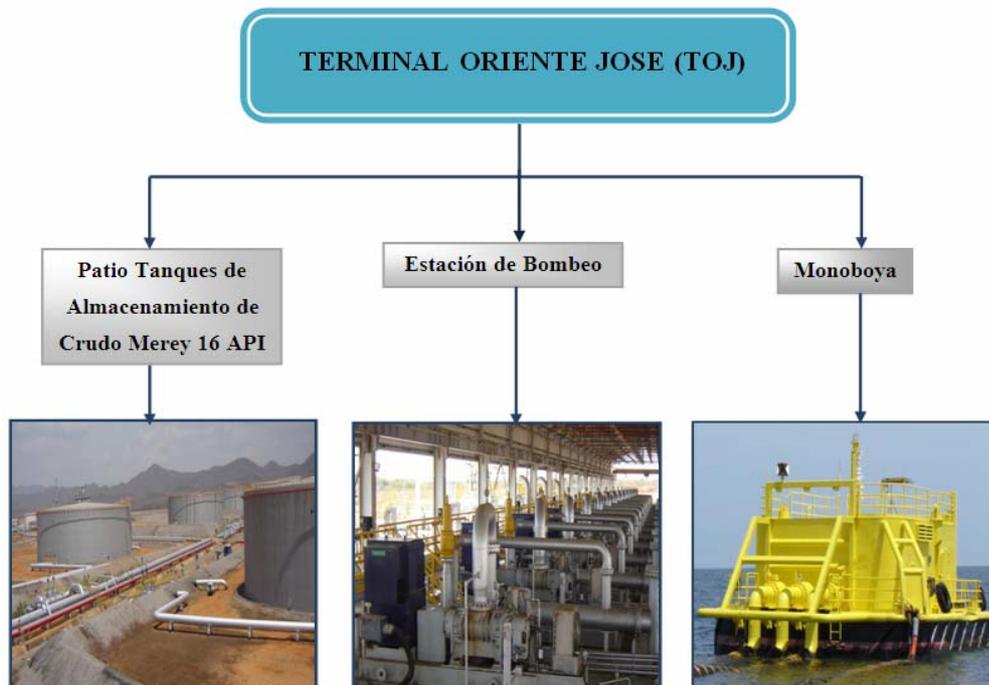


Figura 1.3. Diagrama del Terminal Oriente Jose (TOJ)

La Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) fue instalada en el año 1993 y es desde entonces mantenida y operada por personal propio del TOJ. En Octubre del año 2000 adquirió calificación A1 (la máxima para su estilo) por la American Bureau of Shipping (ABS), la cual es una de las certificaciones de calificación más importante en el ámbito internacional para este tipo de equipos.

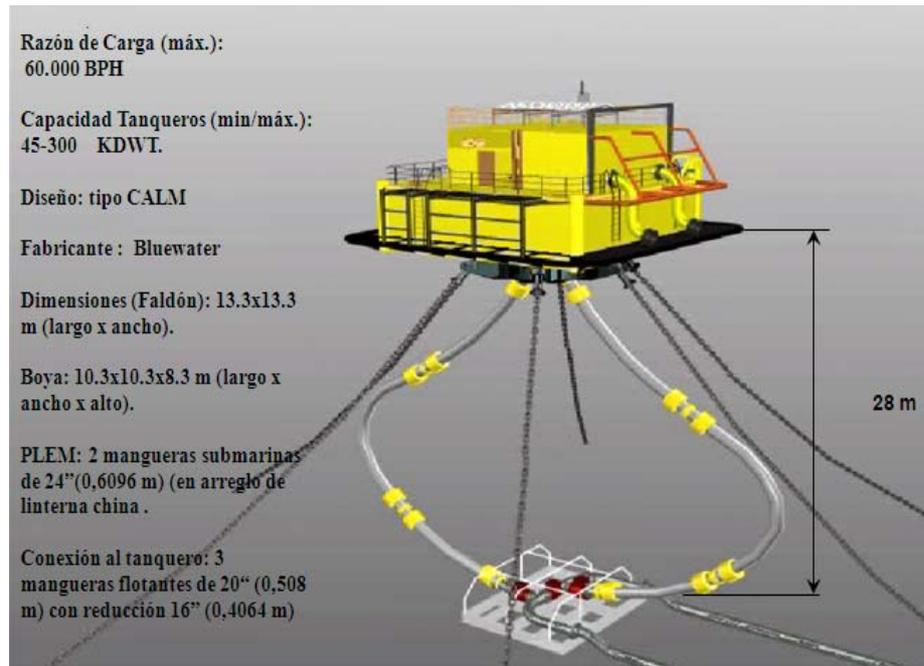


Figura 1.4. Características técnicas de la Monoboya [19].

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que las industrias avanzan, la automatización pasa a formar parte de casi todos los niveles de operación. Ésta permite a las compañías lograr mayor estabilidad tanto en los procesos como en los productos, mejorar la seguridad, reducir los riesgos y los costos. Hoy día, los adelantos logrados en materia de automatización han permitido que las compañías sean más competitivas mediante el reemplazo de los seres humanos por tareas realizadas por máquinas.

La industria petrolera que se encuentra en crecimiento ha ido automatizando algunos de sus procesos (exploración, perforación, producción, refinación, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización), aumentando la seguridad y el control de sus procesos. El sistema hidráulico dispuesto en la parte interna de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) no está en funcionamiento desde hace aproximadamente ocho años. Este sistema tiene como función operar automáticamente las tres (3) válvulas submarinas durante el proceso de carga a un buque. Éstas válvulas se encuentran a 28 metros

de profundidad en el lecho marino, una vez que el crudo Merey es bombeado desde los ocho (8) tanques de almacenamiento del TOJ, el crudo pasa hasta una estructura submarina conocida como PLEM (Pipe Line End Manifold) en donde se encuentran ubicadas las tres válvulas de bola anteriormente mencionadas.

Para realizar actualmente la operación de carga y establecer los estados abierto y/o cerrado de las válvulas submarinas del PLEM es necesario que un técnico (mecánico) opere manualmente las válvulas desde la torreta de la Monoboya. Este proceso se lleva a cabo cuando el técnico presuriza manualmente el sistema hidráulico a través de una bomba manual conectada al tanque de retorno y selecciona en el panel de control la válvula submarina que desea operar. Para esto, es necesario emplear un buzo profesional, que lleve a cabo una supervisión de los estados de las válvulas, éste debe verificar e informar al técnico ubicado en la torreta que las válvulas del PLEM están abiertas o están cerradas. Para evitar realizar ésta operación constantemente el personal del TOJ permite que las válvulas del PLEM se encuentren siempre abiertas por el constante embarque de crudo hacia los buques. La actividad de cerrar las válvulas submarinas se realiza cuando se hace limpieza a la tubería. Es importante resaltar, que el funcionamiento actual del sistema hidráulico se lleva a cabo a través de los equipos para casos de emergencias, lo cual representa un alto riesgo para la Gerencia del TOJ, en vista de que las válvulas permanecen siempre abiertas por lo anteriormente expuesto.

En vista de lo anterior, la Gerencia del Terminal Oriente Jose (TOJ) desea estudiar las posibles Propuestas de mejoras al Sistema Hidráulico que opera las válvulas submarinas del Pipe Line End Manifold (PLEM) de la Monoboya. Para alcanzar este objetivo es preciso realizar un estudio hidráulico del sistema actual que opera las válvulas submarinas del PLEM usando un software comercial adecuado para así poder establecer modificaciones que permitan su funcionamiento. Este estudio permitirá evaluar la adecuación del sistema hidráulico existente de la Monoboya o proponer el reemplazo de algunos de sus componentes y equipos de

manera que las válvulas del PLEM operen eficazmente, considerando para ello la compatibilidad de los nuevos equipos y componentes con los que forman parte del sistema hidráulico.

En el desarrollo de esta propuesta participarán todos aquellos departamentos que intervienen directa o indirectamente en la total puesta en marcha del sistema en estudio, tales como ingeniería, operación y mecánica. Permitiendo así brindar mayores facilidades de operación tanto a los técnicos como a los operadores que trabajan en la Monoboya del Terminal Oriente José (TOJ).

Cabe destacar, que este proyecto representa un valioso aporte, tratándose del primer estudio que se realiza al sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) y sirviendo de guía a futuros trabajos que se pretendan realizar a la Monoboya.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer las posibles mejoras al sistema hidráulico que opera el múltiple de válvulas submarinas de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ).

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar el levantamiento de planos del sistema hidráulico de las válvulas submarinas que opera el múltiple (PLEM).
2. Comprobar en los planos y en sitio las características principales de los equipos del sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose.
3. Determinar los requerimientos operacionales del sistema hidráulico actual de la Monoboya del Terminal Oriente Jose.

4. Realizar un estudio hidráulico del sistema actual que opera las válvulas submarinas de la Monoboya mediante el uso de un programa comercial.
5. Estudiar las posibles mejoras del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM de la Monoboya del Terminal Oriente Jose.
6. Establecer algunas estrategias de mantenimiento que mejoren el funcionamiento de los equipos de la Monoboya.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

*Vivir es lo más raro de este mundo,
Pues la mayor parte de los hombres
No hacemos otra cosa que existir*
O. WILDE

El presente capítulo contempla los antecedentes utilizados como guía o referencia, así como los basamentos teóricos utilizados en el desarrollo de este trabajo.

2.1 ANTECEDENTES

Por medio de previas investigaciones se verificó que para la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), ésta es la primera vez que se realiza un estudio sobre propuestas de adecuación para el sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM. También, se constató que en la UDO-Anzoátegui no se han realizado trabajos referentes a propuestas de adecuación para sistemas iguales al que se está estudiando. Sin embargo, se han realizado diversas propuestas a sistemas hidráulicos similares en otras empresas petroleras. No obstante, fuera del territorio nacional, en países como Argentina, Brasil y Colombia, se han efectuado varios estudios y proyectos relacionados con Monoboyas. A continuación se presenta un resumen de estos trabajos:

- En el año 2004, la compañía Petrotecnia de Argentina, realizó un reporte técnico referente a los terminales de hidrocarburos. Dicho estudio fue realizado en los diversos terminales marítimos y fluviales del país, a fin de comparar los movimientos y operaciones que se llevaban a cabo dentro de cada terminal. Este trabajo comparativo permitió descubrir semejanzas y diferencias en los procesos de manejo de hidrocarburos de las distintas empresas petroleras estudiadas. Entre las conclusiones estaban que los terminales utilizaban diversos sistemas de

manejo de carga, tales como: el OIMS (Operation Integrity Management System) y el SPM (Single Point Mooring), siendo este último el más utilizado en los terminales bajo estudio. Los sistemas tipo SPM son instalaciones marinas que proveen un medio seguro, económico y flexible para amarrar a un tanquero únicamente por su proa y simultáneamente transferir hidrocarburos a través de un sistema de tuberías y mangueras [15].

- En el año 2005, la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) llevó a cabo un proyecto, que consistió en la instalación de una Monoboya tipo CALM (Catenary Anchor Leg Mooring) con capacidad de amarre de hasta 70.000 TPM (Toneladas de peso Muerto) y una línea submarina que conectaba las instalaciones en tierra del terminal con sus correspondientes manifolds. Dicho sistema fue diseñado para operar a una presión normal de 1,1 MPa (159,54 psi) y manejar un flujo de 3660 m³/h (35,90 pie³/s). Este proyecto se llevó a término lográndose la instalación de la Monoboya deseada con las siguientes características: estructura circular de acero totalmente soldada de 12,5 m (492,13") de diámetro y 4,27 m (168,11") de altura certificada por American Bureau of Shipping (ABS) con un peso de 185 Tn [4].
- En el año 2008, Luna [6] realizó un trabajo de grado basado en un sistema de automatización para la supervisión y control remoto de las operaciones de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), implantando una solución mediante la utilización de tecnología confiable y en cumplimiento con los estándares PDVSA, contribuyendo de esta manera, a optimizar la toma de decisiones en los planes de embarque, mantenimiento y protección ambiental del Terminal. La solución a este problema contempló las facilidades de integración, para permitir el monitoreo local y remoto desde el SCADA de las señales de: las válvulas del PLEM (Pipeline End Manifold), sistemas de energía, y presencia de intrusos así como la detección de fallas en la comunicación interna dentro de la Monoboya y la Sala de Control.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Monoboya- SPM (Single Point Mooring)

Una Monoboya o SPM (Single Point Mooring) es una estructura autoflotante que permite amarrar un tanquero y al mismo tiempo entregar o recibir, a través de ella, cualquier tipo de hidrocarburo (Ver Fig. 2.1). Las Monoboyas permiten la atención de grandes buques con grandes calados ya que pueden ser instaladas a cualquier profundidad, siendo su conexión a tierra a través de un oleoducto submarino.

La Monoboya o Single Point Mooring permite al buque amarrado a ella girar libremente alrededor de su estructura (360°), ubicándose en la misma dirección del viento y la corriente marina, de tal forma que el buque amarrado a la Monoboya ofrece la menor resistencia a las fuerzas de las olas, corrientes y vientos. El terminal SPM es considerado cuando los atracaderos convencionales no son factibles y son utilizados ampliamente, dado su costo operativo relativamente bajo, su seguridad de funcionamiento y su flexibilidad de utilización [19].

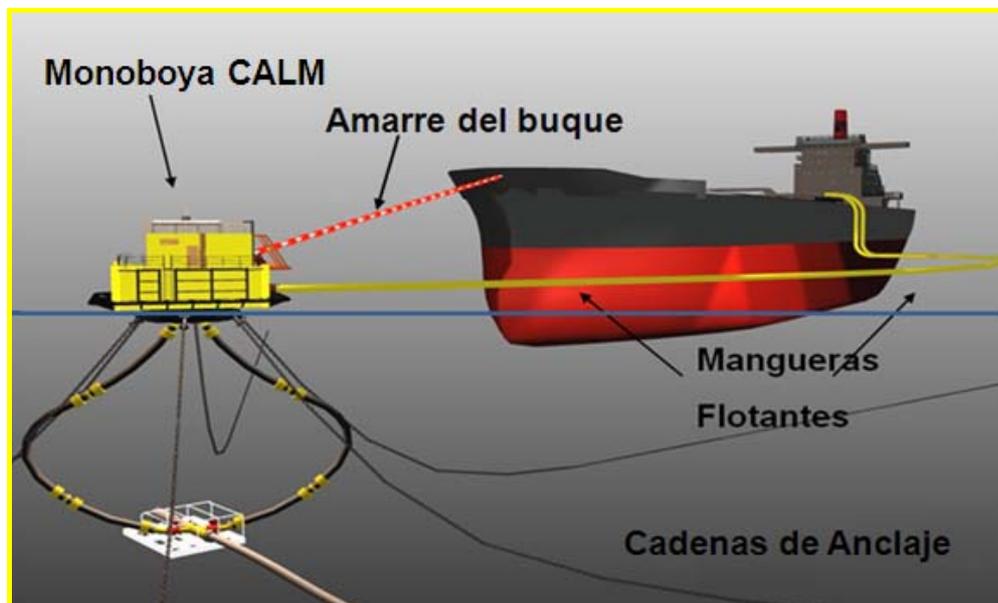


Figura 2.1. Amarre de buque a la Monoboya [19].

Una Monoboya o SPM (Ver Fig.2.2) está constituida básicamente de las siguientes partes [20]:

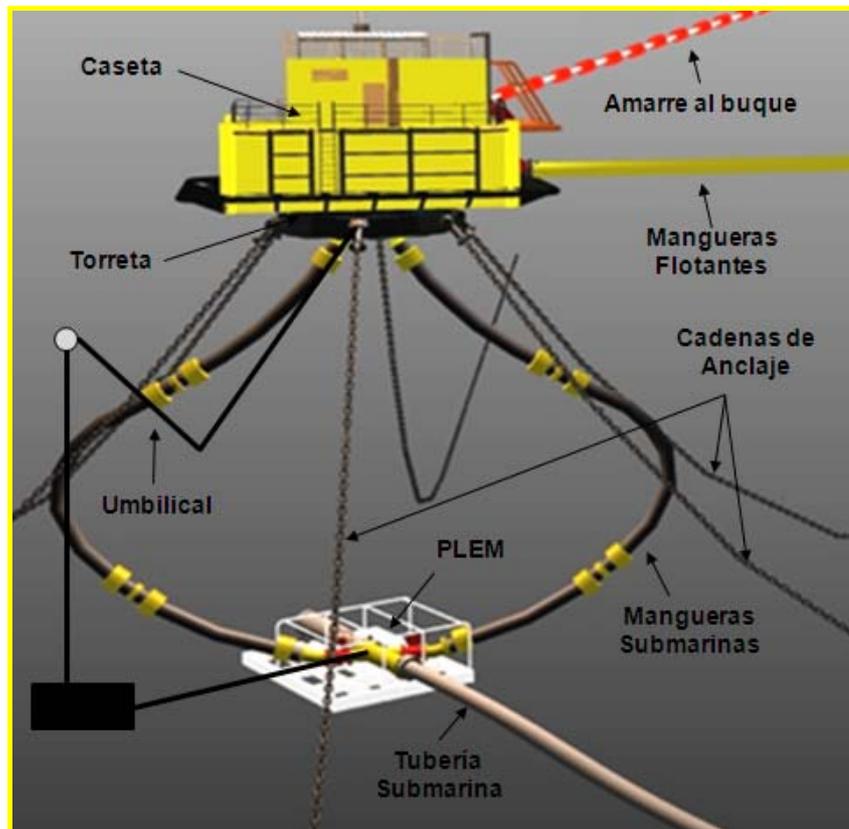


Figura 2.2. Partes de una Monoboya tipo SPM [20].

- a. **PLEM** (Pipe Line End Manifold). Múltiple submarino que forma la conexión entre las tuberías (carga y descarga) que están en el lecho marino y las mangueras submarinas que están conectadas directamente a la tubería de la boya (Ver Fig. 2.2).
- b. **Boya**. Estructura de acero dividida en compartimentos herméticos que asegura la flotabilidad de la Monoboya. Por lo tanto, es el cuerpo flotante rotativo con un área hueca circular en el centro donde se acopla la Torreta a través de un rodamiento (Swivels), a fin de que gire sobre este por efecto de la marea o por el anclaje de un barco.

- c. Torreta.** Cuerpo cilíndrico fijo acoplado al cuerpo flotante rotativo. La torreta tiene una posición fija, por lo que asegura el anclaje de la Monoboya. Esta contiene el sistema hidráulico, dos (2) tuberías rígidas que se conectan a las mangueras submarinas y dos (2) tuberías de menor diámetro, en donde en una de ellas va el umbilical para guiarla hacia el PLEM.
- d. Caseta.** Cuarto fabricado en la cubierta de la Boya y la Torreta, con dos puertas de acceso. Dentro de ella se encuentran las tuberías rígidas articuladas con un mecanismo giratorio (Swivels), válvulas de bola y juntas flexibles ubicadas dentro de la torreta y la caseta (Ver Fig. 2.3).
- e. Sistema de Anclaje.** Constituido por cadenas, anclajes submarinos, juntas, peso muerto, entre otros, que aseguran la posición fija de la Monoboya.
- f. Sistema hidráulico.** Sistema ubicado en la torreta para la operación remota de los actuadores hidráulicos del PLEM.
- g. Mangueras.** Dos (2) mangueras submarinas de doble carcasa en forma de linterna china que van del PLEM a la Boya y tres (3) mangueras flotantes conectadas a la boya, utilizadas para garantizar una línea de carga del producto desde el Terminal.
- h. Umbilical.** Conecta la boya con el PLEM y consiste de seis (6) tuberías hidráulicas flexibles, un cable coaxial y veinte (20) pares de cables de 1 mm de diámetro, todos contenidos en una manguera protectora plástica. Este sale de la torreta a través de una tubería sellada de 10" (0,254 m), y va hacia el PLEM según un recorrido bien definido.
- i. Equipos Eléctricos.** Sistema de Alimentación Solar constituido por un banco de baterías recargables, dos paneles solares y un cargador- regulador de 12 VDC. Durante el día la fuente de energía es suministrada por los paneles solares que también recargan las baterías, mientras que en la noche es suministrada por el banco de baterías. Este sistema sólo puede suministrar energía a los equipos de la caseta y no a la torreta por la imposibilidad de cablearlo, ya que existe un mecanismo de rotación entre ambos cuerpos mencionados (Ver Fig. 2.3).
- j. Ayuda de Navegación y Sistemas de Seguridad.** Dentro de los componentes principales se tiene (Ver Fig. 2.3):

- Una linterna Marina que emite cada 10 s una señal luminosa visual durante la noche con un alcance de 5 mi (8,0467 km) configurado con el código morse “u”.
- Una Corneta Omnidireccional configurada para emitir el código morse “u” cuando se detecta la proximidad de un gran cuerpo.
- Equipos de seguridad como boyas salvavidas con autoluminiscencia, extinguidores de fuego y linternas.

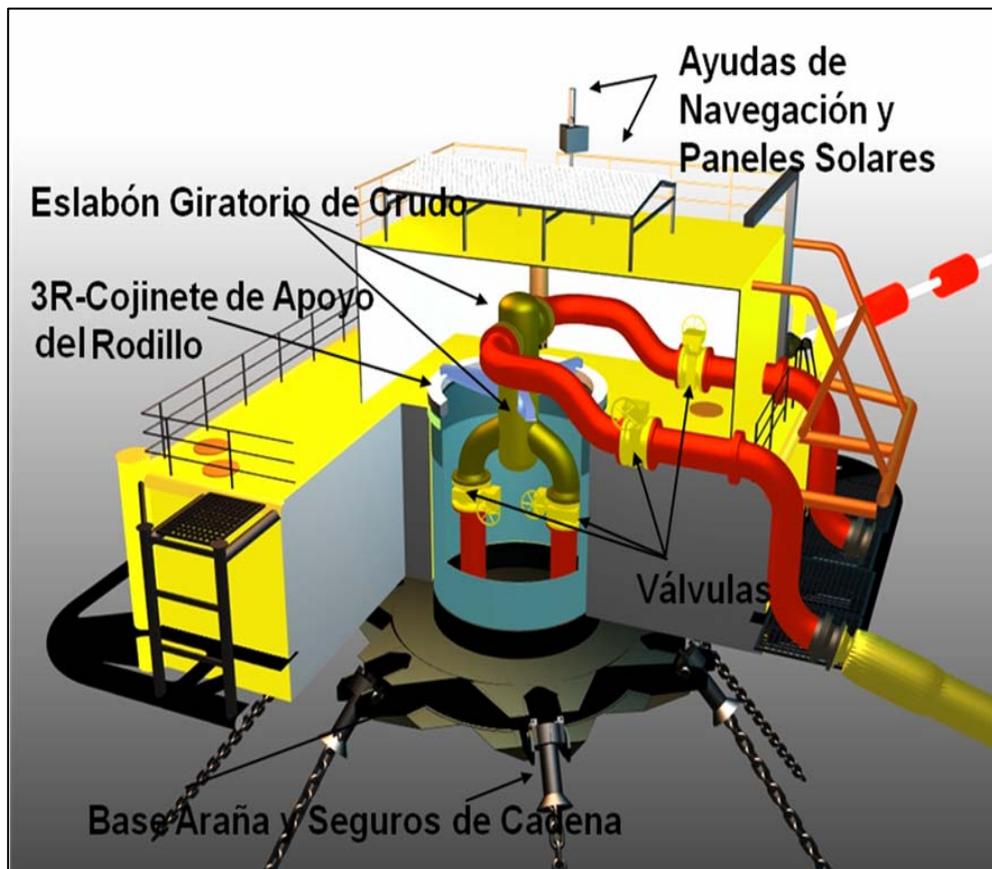


Figura 2.3. Partes de una Monoboya vistas desde su parte interna [20].

2.2.2 Múltiple Submarino (PLEM)

El múltiple submarino consiste de tres componentes básicos: la base del PLEM, la tubería del PLEM y el anclaje del PLEM (Ver Fig. 2.4).

- **Base del PLEM** está diseñada de forma tal que le confiera suficiente estabilidad al PLEM en el lecho marino de modo que soporte las cargas aplicadas por la(s) manguera(s) submarina(s) y las corrientes oceánicas. La tubería del PLEM se adapta a la base del mismo.
- **Tubería del PLEM** sirve de interface entre la(s) manguera(s) y la(s) tubería(s) submarina(s), incluye válvulas para aislar la tubería en caso de que sea necesario. Estas válvulas pueden ser operadas tanto manual como hidráulicamente. Esta última forma de operación conlleva la ventaja de que no se requiere de un buzo para cerrar y/o abrir las válvulas. El equipo motriz hidráulico para operar las válvulas se puede instalar en la torreta, de modo que esté protegido por la caseta de la cubierta.

En la industria se manejan dos tipos estándares de PLEM, a saber: los PLEMs tipo gravedad y los PLEM de pilotes. En el caso de los PLEMs de gravedad, la tubería y las válvulas se adaptan a una base grande de acero reforzado y concreto. El PLEM de gravedad se coloca en el lecho marino y utiliza su propia gravedad para mantenerse en posición. El PLEM usado por la Monoboya del Termina Oriente Jose (TOJ) es de tipo pilotes.

- **Anclaje del PLEM**, la tubería y la(s) válvula(s) se adaptan a un marco de acero que se coloca en el lecho marino mediante el uso de pilotes. El número de pilotes varía dependiendo del tamaño del PLEM. En la mayoría de los casos se requieren de 2 a 3 pilotes.

La selección del tipo de PLEM depende primordialmente de la condición del suelo y/o la preferencia del cliente [19].

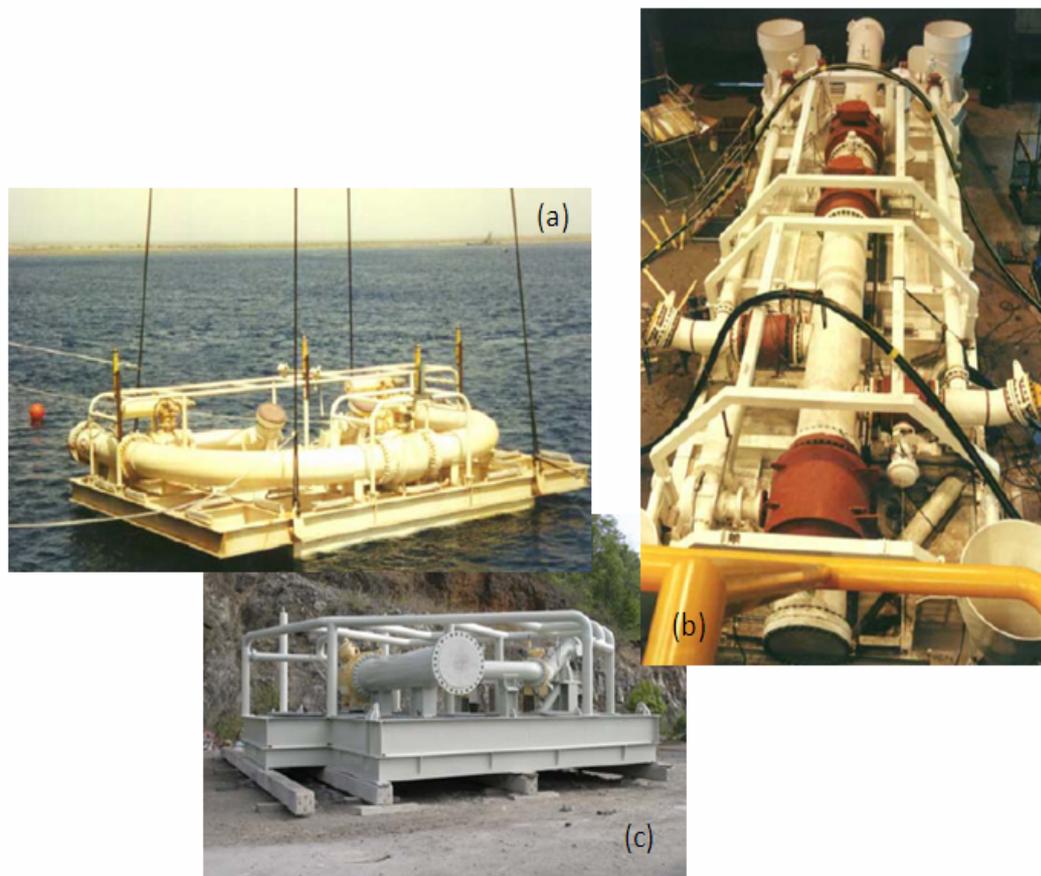


Figura 2.4. Diferentes vistas del PLEM de la Monoboya: (a) Base del PLEM, (b) Tubería del PLEM y (c) Anclaje del PLEM [19].

2.2.3 Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)

La Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) es una estructura flotante a la cual se amarran los buques para las operaciones de carga de crudo Merey 16 API (Ver Fig. 2.5). Está ubicada a 8 km aproximadamente de distancia de la costa, en el punto de coordenadas UTM N 1123000; E 299000. La Monoboya es del tipo CALM (Catenary Anchor Leg Mooring), la cual consiste en un sistema de amarre de un solo punto en el lecho marino por medio de cadenas con configuración de catenarias, la profundidad promedio en el área donde se encuentra es de 28 m aproximadamente, y tiene capacidad para fondear buques entre 45.000 y 300.000

Toneladas Métricas de Peso Muerto (TMPM) a una tasa de 60.000 BPH, para el embarque de Crudo [18].



Figura 2.5. Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ).

El Crudo Merey 16 API es transportado desde tierra al buque a través de dos (2) tuberías submarinas conectadas al sistema de tuberías de la Monoboya. La línea final del múltiple (PLEM) conecta las dos (2) tuberías submarinas con las dos (2) mangueras submarinas, las cuales se encuentran suspendidas en una configuración de Linterna China. Esta configuración previene que las mangueras sufran excesos de esfuerzos cuando la boya esté en la parte más alejada del múltiple, y previene que la manguera se quiebre o se dañe en el lecho marino cuando la boya esté en el punto más cercano al múltiple. Las mangueras están doblemente forradas y poseen un sistema de alerta de fallas remotamente operado que indica el fallo del armazón principal. Las mangueras submarinas tienen como

función proveer el camino del flujo entre el PLEM y el sistema de tuberías de la Monoboya [19].

La Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) es mantenida en su posición por (6) cadenas dispuestas a intervalos equidistantes, que se anclan a pilotes submarinos de alta resistencia. Cada cadena está conectada a un trinquete giratorio que se encuentra alojado en la torreta.

La Monoboya del TOJ posee una caseta que sirve para proteger los artículos más críticos (la manivela y el pivote central, los equipos eléctricos, el sistema hidráulico y el sistema de telemetría) del ambiente. Los trabajos se realizarán en la Monoboya del TOJ con clima tropical, húmedo y caluroso sujeto a lluvias estacionales. Las condiciones ambientales de operación se muestran en la Tabla 2.1 [19]:

Tabla 2.1. Condiciones ambientales de operación de la Monoboya del TOJ [19].

CONDICIONES AMBIENTALES	
Ambiente:	Tropical y húmedo (marino)
Temperatura:	26,5 a 70 °C
Humedad relativa:	55 a 90 %
Velocidad promedio del viento:	5 a 95 km/h
Dirección predominante del viento:	50° S.O.
Estaciones:	Lluviosa: Abril – Septiembre Seca: Octubre – Marzo

2.2.3.1 Condiciones de diseño de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)

Entre las condiciones de diseño de la Monoboya del TOJ se tienen [20]:

- El sistema de tuberías de la Monoboya fue diseñado para descargar Orimulsión a 60.000 BPH con una presión mínima de carga de 20 psi (1,3789 bar) en el múltiple del buque, luego se adaptó para la descarga de Crudo Merey 16 API.
- La presión de diseño para las mangueras submarinas y las mangueras flotantes es de 275 psi (18,96 bar) y 225 psi (15,51 bar) para el sistema de tuberías de la boya.
- La presión de diseño en la línea de tubería del PLEM (Pipe Line End Manifold) es 480 psi (33,09 bar).
- El sistema está diseñado para realizar cargas operacionales durante las condiciones máximas de supervivencia, en el caso de que no se esté atracando ningún buque, y para cargas operacionales atracando un buque durante las condiciones máximas de operación.

2.2.4 5Características del PLEM y de las mangueras flotantes de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)

El PLEM de la Monoboya del Terminal Oriente Jose, se encuentra anclado al lecho marino por dos pilotes de anclaje. El sistema de tuberías del múltiple es básicamente una tubería de 36" (0,9144 m) construida en un semicírculo de 180°, con codos de 196,85" (5 m) de radio para propósitos de mantenimiento. La transferencia de Crudo Merey 16 API del PLEM hacia el buque, se efectúa a través de dos mangueras submarinas que se conectan al CALM, donde el eslabón giratorio y el sistema de tuberías aseguran que se logre una conexión rotativa segura con las dos mangueras flotantes. El producto luego se transfiere a través de las tuberías de la cubierta y las mangueras flotantes hacia el múltiple del buque (Ver Fig. 2.6) [19].



Figura 2.6. Transferencia de crudo Merey 16 API desde la Monoboya del TOJ hacia un buque.

La sección central del PLEM contiene una válvula de bola de 36" (0,9144 m), la cual contiene además, dos desembocaderos a las mangueras submarinas donde una válvula de bola de 24" (0,6096 m) con una bobina de 45° está instalada en cada uno de los desembocaderos.

La válvula de bola de 36" (0,9144 m) y las dos (2) de 24" (0,6096 m) están acopladas con acumuladores tipo pistón operados hidráulicamente. Los acumuladores están conectados por tuberías rígidas a un múltiple montado en la base del PLEM cercano al punto de conexión del umbilical. Las válvulas de bola poseen interruptores de límite. Las posiciones de las válvulas registradas por los interruptores de límite son transmitidas al sistema de telemetría. Mediante el cordón umbilical se logra el control hidráulico de las válvulas y la conexión eléctrica para la señalización de los estados.

La base del PLEM está construida por dos (2) tubos de 24" (0,6096 m) acoplados por secciones cuadradas huecas. El fondo de la base del PLEM está cerrado mediante enchapado, que actúa como una capa protectora con propósitos de cuidar y proteger el mismo [22].

2.2.5 Características de la Torreta

La torreta de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), es la parte estática de la boya instalada con una orientación fija. La torreta consiste de una sección tubular de gran diámetro, donde en su extremo superior está atornillada al cojinete maestro, mientras que en su extremo inferior está integrada con la araña, la cual contiene seis (6) trinquetes giratorios que se conectan a las cadenas de anclaje. La sección cilíndrica de la torreta está acoplada al soporte principal y contiene [19]:

- La tubería de producción
- Los tubos fijos de entrada para el umbilical y las mangueras submarinas
- El sistema hidráulico para la operación remota de las válvulas del PLEM
- La unidad de telemetría de la torreta y dos plataformas de acceso con una escalera.

2.2.6 Sistema Hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ)

El sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ se encuentra dentro de la torreta y está formado por acumuladores hidráulicos de tipo pistón, bombonas de Nitrógeno, un deposito (tanque) y un panel de control. Este panel contiene un conjunto de válvulas de presión, válvulas de seguridad, válvulas solenoides y un umbilical (Ver Fig. 2.7). Las bombonas de nitrógeno, los acumuladores y el tanque de drenaje están montados individualmente a lo largo de la pared de la torreta.

Este sistema hidráulico se encarga de la apertura y/o cierre de las válvulas de bola del PLEM. El sistema está subdividido en 5 partes:

- Sistema de presión
- Sistema de drenaje de aceite
- Sistema de control de válvulas
- Umbilical
- PLEM

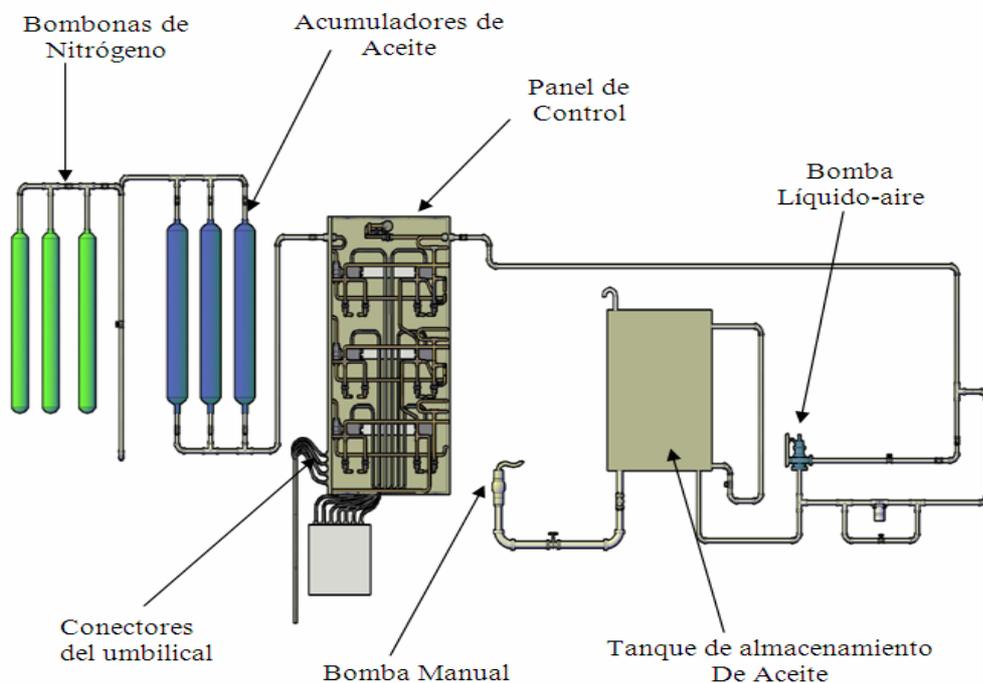


Figura 2.7. Representación del Sistema hidráulico del Terminal Oriente Jose (TOJ)

2.2.6.1 Sistema de Presión y Drenaje de aceite del sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ

El sistema hidráulico está presurizado con gas nitrógeno, almacenado en tres (3) bombonas de 70 litros con una presión de 100 bar (1450 psi) cada una. Tres (3) acumuladores de aceite de 60 litros cada uno son mantenidos bajo presión por el gas

nitrógeno (Ver Fig. 2.8). Un pistón provee la separación entre el sistema hidráulico y el sistema neumático. El gas nitrógeno pierde presión (e incrementa su volumen) con cada operación realizada a las válvulas. Una bomba neumática y una bomba manual de respaldo están instaladas en la parte de abajo de la torreta cerca del tanque de aceite hidráulico (depósito) para re-presurizar el sistema.

El aceite usado es almacenado en un tanque de 200 litros. Una vez, que el sistema hidráulico es recargado el aceite debe ser bombeado de nuevo del tanque a los acumuladores. La pérdida de nitrógeno puede ser observada chequeando la presión de gas cuando los acumuladores están llenos de aceite hidráulico. Para este caso, la presión de nitrógeno debe ser de 1450 psi (100 bar).

En caso de que la presión de nitrógeno sea menor a los 900 psi (62 bar) y la presión del aceite hidráulico esté por debajo de 841,21 psi (58 bar), el sistema de telemetría transmitirá una señal de alerta a la sala de control y a las unidades de telemetría portátiles indicando que el sistema debe ser presurizado [19].



Figura 2.8. (a) Bombonas de nitrógeno y (b) acumuladores de aceite

2.2.6.1.1 Función del Sistema Hidráulico de la Monoboya del TOJ en conjunto con las válvulas del PLEM

El sistema hidráulico empieza a operar cuando se va a realizar el embarque de crudo Merey desde tierra a la Monoboya o desde ésta al buque. La principal función del sistema hidráulico es operar las tres (3) válvulas submarinas de bola ubicadas en el múltiple (PLEM), una de 36” (0,9144 m) y dos de 24” (0,6096 m). Éste sistema está integrado por tres (3) acumuladores hidráulicos que permiten la apertura y cierre de las válvulas de bola ubicadas en el PLEM (Pipeline End Manifold) a 28 m de profundidad aproximadamente en el lecho marino. Dichos acumuladores se activan mediante la presión de 100 bar (1450 psig) suministrada por las tres (3) bombonas de nitrógeno de 70 l c/u, asociadas a las válvulas solenoides activadas desde una RTU. Las válvulas submarinas poseen unos interruptores, los cuales registran las posiciones o estados de las válvulas para transmitirlos a la unidad de operación costera.

Una vez garantizada la energía hidráulica proveniente de las válvulas solenoides, el aceite se desplaza desde la torreta (panel de control) a través de seis (6) conectores hidráulicos (Umbilical) hasta llegar a la base del múltiple donde están instaladas las tres (3) válvulas de bola. Las válvulas submarinas están acopladas a actuadores operados hidráulicamente, los cuales están conectados por tuberías rígidas a un múltiple montado en la base del PLEM, cercano al punto de conexión del umbilical. La actividad llevada a cabo a través del sistema hidráulico termina una vez que el flujo de crudo pasa a través de las dos tuberías submarinas hasta llegar al PLEM. De allí continua el crudo a la Monoboya a través de dos mangueras submarinas de doble carcasa con configuración de linterna china. Luego el crudo pasa a los múltiples (manifold) de los barcos mediante unas mangueras flotantes de doble carcasa.

2.2.6.2 Sistema de Control de Válvulas

Los ductos hidráulicos de los acumuladores de aceite convergen en un ducto hidráulico principal (Panel de control de válvulas). El ducto hidráulico es monitoreado con una alerta visual y remota de baja presión, y una válvula de cerrado automático. La energía hidráulica es distribuida a las válvulas del PLEM a través de tres (3) válvulas solenoides operadas eléctricamente en posición automática neutral. Tres (3) válvulas operadas manualmente están montadas como sistema de respaldo en caso de que el sistema de telemetría falle. Todo este equipo está contenido en un gabinete de acero inoxidable y montado en la torreta (Ver Fig. 2.9). Para operar una válvula del PLEM debe operarse la válvula solenoide correspondiente a la válvula que se desea abrir y/o cerrar. Las válvulas del múltiple son identificadas de la siguiente manera [19]:

- Válvula Principal: Identificada como (83-GV-001)
- Válvula 1: Identificada como (83-GV-002)
- Válvula 2: Identificada como (83-GV-002)



Figura 2.9. Panel de Control de válvulas: (a) Cerrado y (b) Abierto

2.2.6.3 Umbilical

La Monoboya del TOJ y el PLEM están conectados mediante un umbilical hidráulico que consiste de seis (6) mangueras hidráulicas para transportar el aceite, un cable coaxial y doce (12) cables eléctricos de 1 mm (0,039”), todos montados en una manga protectora (Ver Fig. 2.10). El umbilical es de tipo blindado y posee restricciones de doblado para prevenir que este se doble en un radio mayor que el indicado.

El umbilical está instalado en una configuración de tipo “Z”, mantenido en su lugar por una masa de lastre y un tanque flotador, está anclado al lecho marino por una base de gravedad, ubicada a 28 metros de profundidad. El umbilical forma las conexiones hidráulicas y eléctricas entre la Monoboya y el PLEM.

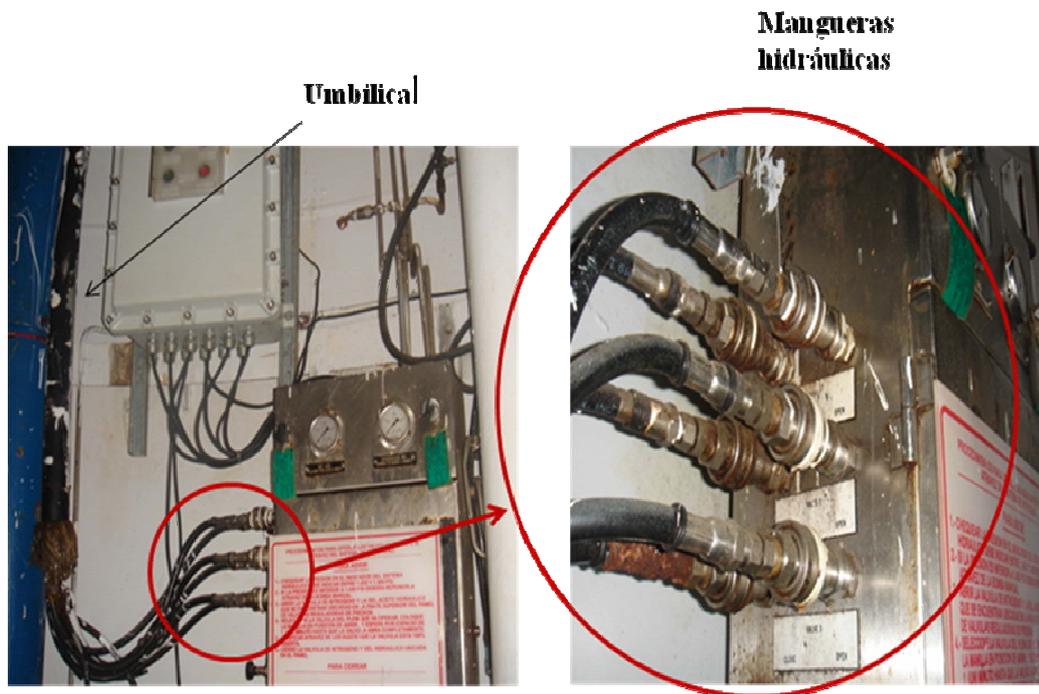


Figura 2.10. Umbilical (6 mangueras hidráulicas) del Sistema Hidráulico de la Monoboya del TOJ.

El tiempo de apertura y cierre de las válvulas es ajustable cambiando la posición de la válvula solenoide correspondiente a la válvula del PLEM que se desea operar. La velocidad de operación de las válvulas del múltiple depende de la cantidad de válvulas que tienen que ser abiertas o cerradas simultáneamente [19].

2.2.6.4 PLEM

El PLEM tiene una presión de trabajo de 1450 psi (100 bar), y como se mencionó anteriormente, está formado por dos válvulas de bola de 24" (0,609 m) y una válvula de bola de 36" (0,9144 m), las cuales son activadas por el sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ [19].

2.2.7 Acumuladores

Los acumuladores hidráulicos son recipientes que almacenan cierta cantidad de aceite a presión y lo liberan en el momento adecuado, consisten de un depósito destinado a almacenar una cantidad de fluido incompresible y conservarlo a una cierta presión mediante una fuerza externa. Los objetivos que se pueden conseguir al instalar un acumulador son los siguientes:

- Tener una reserva de aceite para utilizarla en los momentos de máxima demanda.
- Reducir los perjuicios producidos por los golpes de ariete.
- Amortiguar pequeñas oscilaciones de caudal o presión

El sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ contiene tres acumuladores tipo pistón como se mencionó anteriormente, el cual se define a continuación.

2.2.7.1 Acumulador de pistón

Un acumulador de tipo pistón consiste en un cuerpo cilíndrico y un pistón móvil con sellos elásticos. El gas ocupa el volumen por encima del pistón y se comprime cuando el fluido entra al interior del cuerpo cilíndrico (Ver Fig. 2.11). Al salir el fluido del acumulador la presión del gas desciende. Una vez que todo el líquido ha

Después de haber sido descargado, el pistón alcanza el final de su carrera y cubre la salida manteniendo el gas dentro del acumulador. El gas utilizado es nitrógeno, para que no haya riesgo de combustión o explosión, y porque no produce ninguna acción química sobre el material plástico de la lámina de separación que se encuentra dentro de acumulador [8].

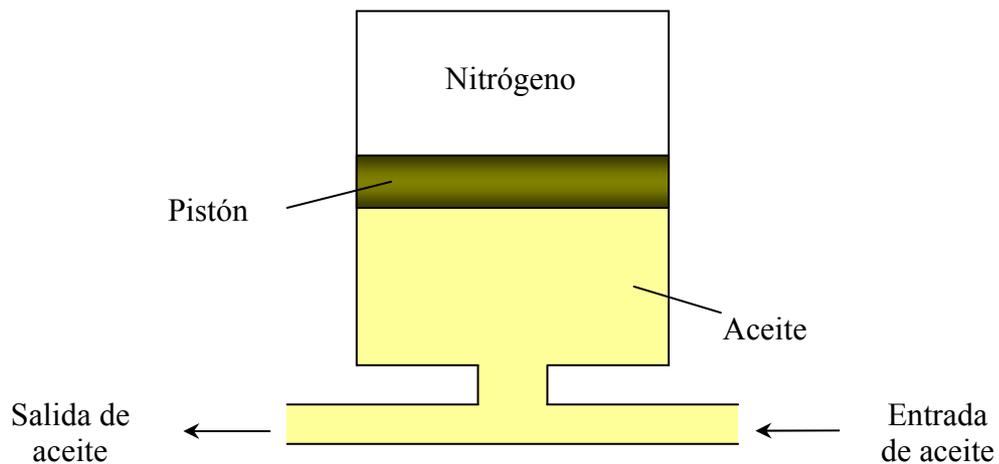


Figura 2.11. Acumulador de pistón [8]

2.2.8 Válvulas hidráulicas

Las válvulas son, después de las bombas y motores, los componentes más importantes de los sistemas hidráulicos. Estos componentes sirven para controlar el flujo, dirección y presión en el sistema [8].

Las válvulas son mecanismos automáticos colocados en la aspiración e impulsión de cada uno de los cilindros que permiten el flujo del gas en una sola dirección, bien sea hacia dentro del cilindro (aspiración), bien hacia fuera del mismo (impulsión). Estos mecanismos actúan por diferencia de presión, aunque en ciertas condiciones pueden ser ayudadas por resortes.

El sistema hidráulico de la Monoboja del TOJ contiene diferentes tipos de válvulas (válvulas de seguridad, válvulas de alivio, válvulas check y válvulas

solenoides). Las válvulas solenoides ejercen un papel importante al momento de operar el sistema y poner en funcionamiento las válvulas del PLEM. El tipo de válvulas solenoides usadas son de dos vías de acción directa.

2.2.8.1 Válvulas solenoides

Este tipo de válvula controla la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general, estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal [29].

- **Válvula solenoide de dos vías**

La válvula de dos vías es el tipo de válvula solenoide más común, ya que posee una conexión de entrada y una de salida, controlando el flujo del fluido en una sola línea. Puede ser de acción directa u operada por piloto, dependiendo de la capacidad del sistema. Cada una de estas puede ser normalmente cerrada o normalmente abierta (Ver Fig. 2.12).

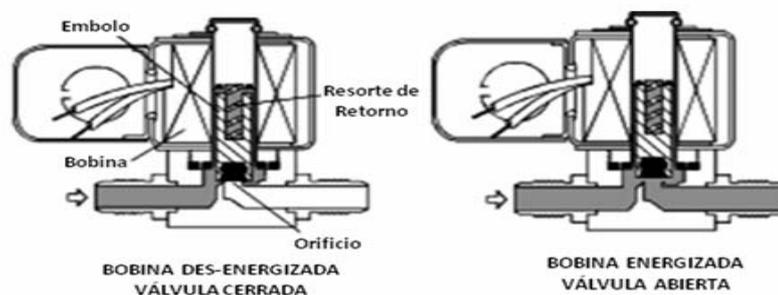


Figura 2.12. Válvula solenoide de dos vías [29].

2.2.9 Depósito de fluido hidráulico (tanque)

El depósito contiene el aceite que no está recorriendo el sistema. De este tanque sale la tubería que conduce el aceite hasta la bomba y entra a las tuberías que lo llevan de regreso o retorno al tanque de almacenamiento de aceite.

La capacidad que debe tener el depósito ésta en función del caudal que la bomba hace circular por el sistema, de modo que su volumen total sea de 3 a 4 veces mayor que el que la bomba envía cada minuto aunque sólo se llenará hasta los 2/3 ó 3/4 de altura.

El tanque para el almacenamiento de aceite del sistema hidráulico de la Monoboya tiene una capacidad de 200 litros ($0,20 \text{ m}^3$) y está conectado a una bomba manual para realizar el proceso de recarga de los acumuladores tipo pistón. Una vez, que el sistema hidráulico es recargado el aceite debe ser bombeado de nuevo del tanque a los acumuladores. En la Fig. 2.13 se muestra el tanque de almacenamiento de aceite del sistema hidráulico [21].



Figura 2.13. Depósito de aceite del sistema hidráulico de la Monoboya: (a) Parte Superior y (b) Parte inferior

2.2.10 SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) está basado en computadores que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación, proceso o sistema de características variadas. Es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre computadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del computador. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.). Actualmente, los sistemas de control de acceso ya permiten trabajar con plataformas SCADA mediante protocolos de comunicación como el ModBus (o ModBusIP), OPC y otros [28].

2.2.10.1 Unidad de Terminal Remota (UTR o RTU)

La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como los estados abierto/cerrado desde una válvula o un interruptor, lee las medidas como presión, flujo, voltaje o corriente. Por el equipo el RTU puede enviar señales que pueden controlarlo: abrirlo, cerrarlo, intercambiar la válvula o configurar la velocidad de la bomba, ponerla en marcha y pararla entre otras.

La RTU puede leer el estado de los datos digitales o medidas de datos analógicos y envía comandos digitales de salida o puntos de ajuste analógicos.

Las alarmas son una de las partes más importantes de la implementación del SCADA. Una alarma es un punto de estado digital que tiene cada valor NORMAL o ALARMA. La alarma se puede crear en cada paso que los requerimientos lo necesiten.

El operador de SCADA pone atención a la parte del sistema que lo requiera, por la alarma. Pueden enviarse por correo electrónico o mensajes de texto con la activación de una alarma, alertando al administrador o incluso al operador de SCADA [28].

2.2.11 Sistema de telemetría

El sistema de telemetría de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ) tiene como función mostrar la posición (abierta y/o cerrada) y controlar remotamente las tres válvulas submarinas del PLEM, transferir datos en dos sentidos entre la unidad de la torreta y la computadora ubicada en la sala de control, para operar el sistema de alerta de las mangueras submarinas. También tiene como función transmitir una señal de alarma cuando la batería ubicada en la torreta esté baja y cuando los niveles de nitrógeno y aceite hidráulico estén por debajo de la presión indicada. El sistema de telemetría de la Monoboya del Terminal Oriente Jose consiste básicamente de [19]:

- Una unidad en la torreta
- Equipo conectado en el PLEM
- Tres controles remotos: uno ubicado en la Monoboya del TOJ, otro en la Sala de Control y un (1) controlador portátil.

La unidad de la torreta recibe sus datos directamente, y es accedida remotamente desde la cubierta, la sala de control o desde las unidades portátiles.

Para operar las válvulas del PLEM desde la torreta, un operador debe apretar el interruptor requerido hasta que las válvulas hayan completado su ciclo (aproximadamente 5 minutos). Cuando se operan las válvulas a través de la caseta, de la sala de control o de cualquier unidad portátil, cada válvula debe completar su ciclo antes de que otro comando sea reconocido.

La función de la unidad localizada en la cubierta es la de acceder a los datos y mostrarlos, operar remotamente las válvulas del PLEM y mostrar los mensajes de estados de los distintos enlaces de radio, las alarmas de baterías bajas, y las posiciones de las válvulas del PLEM.

La computadora ubicada en la sala de control, reúne y procesa los datos generados por el sistema de fallas de las mangueras submarinas, y el panel de control opera remotamente las válvulas del PLEM y la sirena.

La unidad portátil es para el capitán de maniobras en los buques involucrados. Cuando está colocado óptimamente en una nave, funciona en un rango de un (1) kilómetro. La unidad portátil (cuando se enciende) transmite un mensaje de conexión a la unidad de la cubierta. Esta muestra las posiciones de las válvulas, alarmas de baterías bajas y del sistema de presión hidráulica. Los botones de control remoto de las válvulas tienen un retardo de acción de un segundo como medida de seguridad. En la Fig. 2.14 se muestra la topología del SCADA del Terminal Oriente Jose (TOJ) [19].

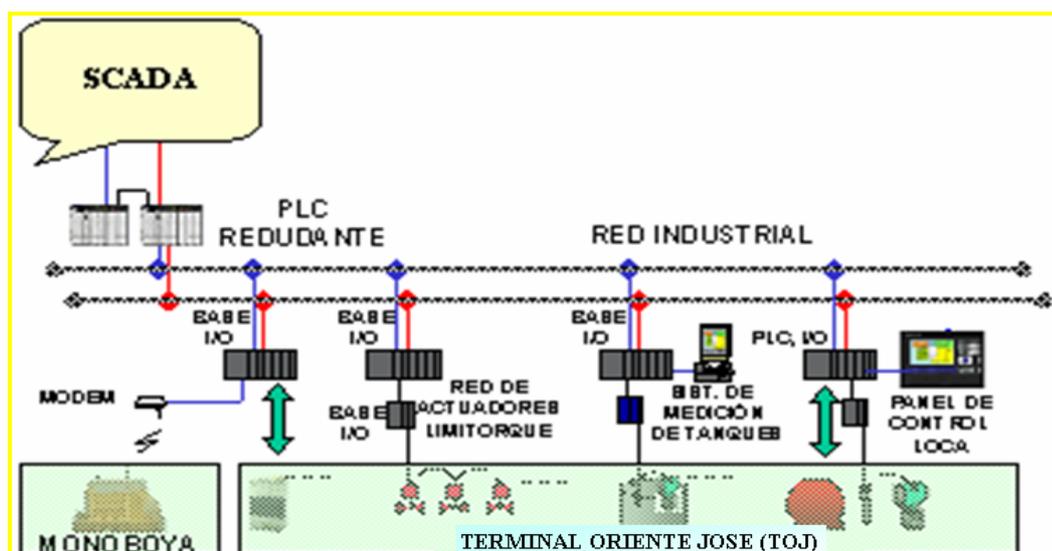


Figura 2.14. Topología del SCADA del Terminal Oriente Jose (TOJ)

2.2.12 Normas

El proyecto de sistemas instrumentados de control de procesos requiere del auxilio de diagramas del circuito de instrumentos donde se indique claramente los tipos de instrumentos, señales con las que se comunicarán, ubicación relativa de los elementos que conformarán el circuito, etc. La Sociedad de Instrumentación de los Estados Unidos (**ISA: Instrument Society of America**) es una de las organizaciones más importantes que han dedicado esfuerzo en la normalización de este campo de trabajo, ella tiene por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímica, aire acondicionado, etc.

2.2.13 PIPEPHASE versión 8.1

Es una herramienta corporativa de cálculo desarrollado por la empresa Invensys Systems, Inc, para el diseño, análisis y optimización de gran variedad de sistemas de flujo, así como también para la realización del análisis nodal a pozos productores, además predice en estado estacionario; caída de presión, transferencia de calor (cambio de temperaturas) y perfiles líquidos holdup en los pozos, líneas de flujo, configuraciones lineales o red de acopio de sistemas, y de otras tuberías, bombas, compresores, separadores y otras instalaciones.

PIPEPHASE permite diseñar sistemas nuevos, monitorear sistemas existentes y resolver problemas de tubería. Combina la tecnología estándar de la industria para la simulación de flujos multifásicos con una amplia base de propiedades físicas y termodinámicas. Permite simular sistemas complejos de tuberías de procesos, sistema de alivio. El programa puede manejar fluidos que pueden definirse en forma composicional o por sus propiedades (viscosidad, temperatura, entre otras). Maneja: líquidos, gas, vapor y las mezclas multifásicas de gas y líquido.

PIPEPHASE posee más de treinta opciones de equipos/tuberías y accesorios para construir la red. Desde el yacimiento, a través del pozo, hasta las instalaciones superficiales. Además de modelado de caída de presión y transferencia de calor (cambio de temperatura). Los estudios hidráulicos del sistema de válvulas del PLEM de la Monoboya del TOJ a las condiciones actuales y de diseño fueron realizadas con este software. En la Fig. 2.15 se muestra un esquema de las principales características del software PIPEPHASE.

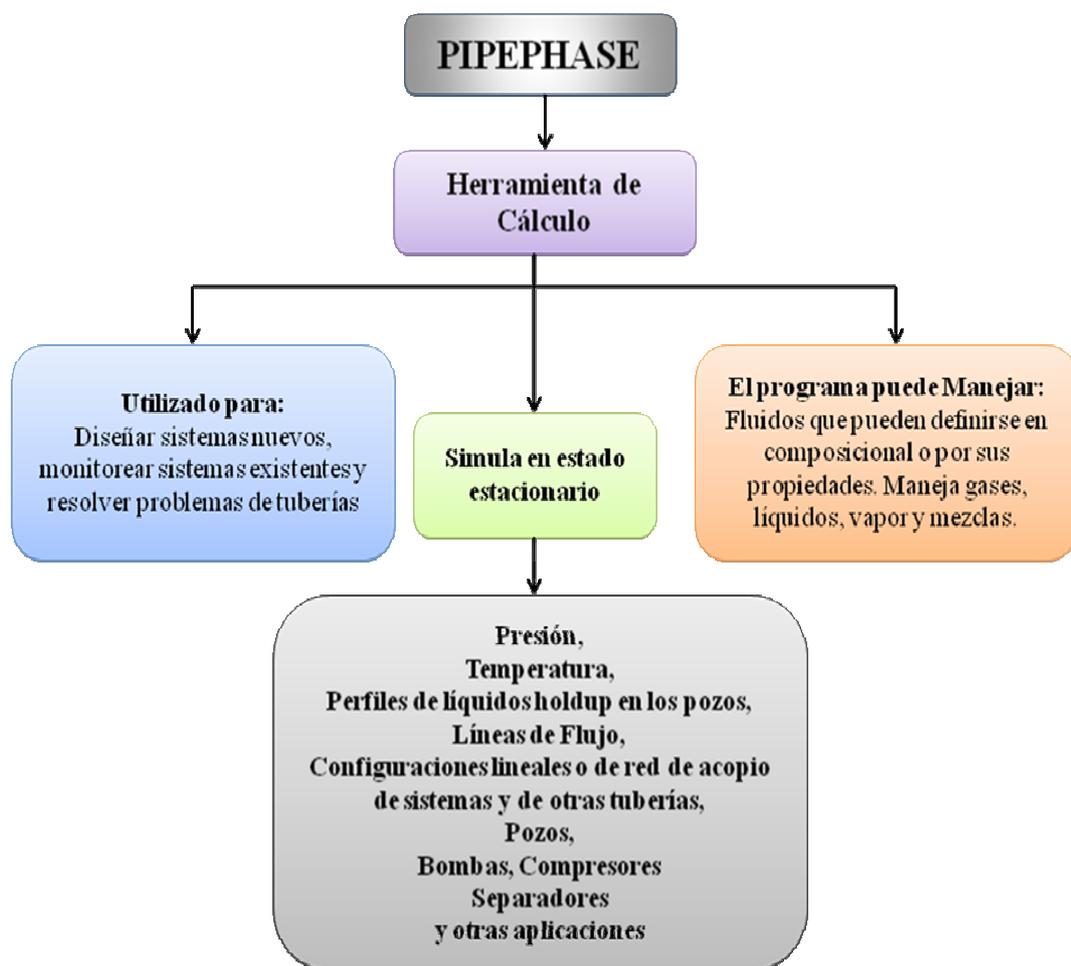


Figura 2.15. Esquema de las principales características de PIPEPHASE

Capítulo 3

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

*Si el mundo no cree en Dios
es que hay un argumento que falla:
nosotros
VESINS*

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el conjunto de etapas a seguir para llevar a cabo las Propuestas de mejoras al sistema Hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), comenzando con la revisión bibliográfica necesaria para la realización de este trabajo y finalizando con el estudio hidráulico del área en estudio.

Para encontrar la información referente al sistema hidráulico de la Monoboya se aplicaron técnicas de recolección de datos, las cuales correspondieron a entrevistas no estructuradas, visitas a campo para obtener la ubicación de los equipos e instrumentos, así como las dimensiones y longitudes de los tramos de tuberías del sistema hidráulico, revisión de manuales técnicos de operación y planos de la planta.

Además, se detalla el procedimiento de cálculos para determinar la presión de salida del aceite en los acumuladores. Es importante resaltar, que los isométricos elaborados con la información recopilada del sistema hidráulico durante la visita a campo, ayudaron para la evaluación hidráulica y el planteamiento de las propuestas de mejoras al sistema.

En la Fig. 3.1 se muestra el diagrama de flujo de todas las etapas seguidas en este trabajo para cumplir con el objetivo de llevar a cabo las propuestas de mejoras del sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ).

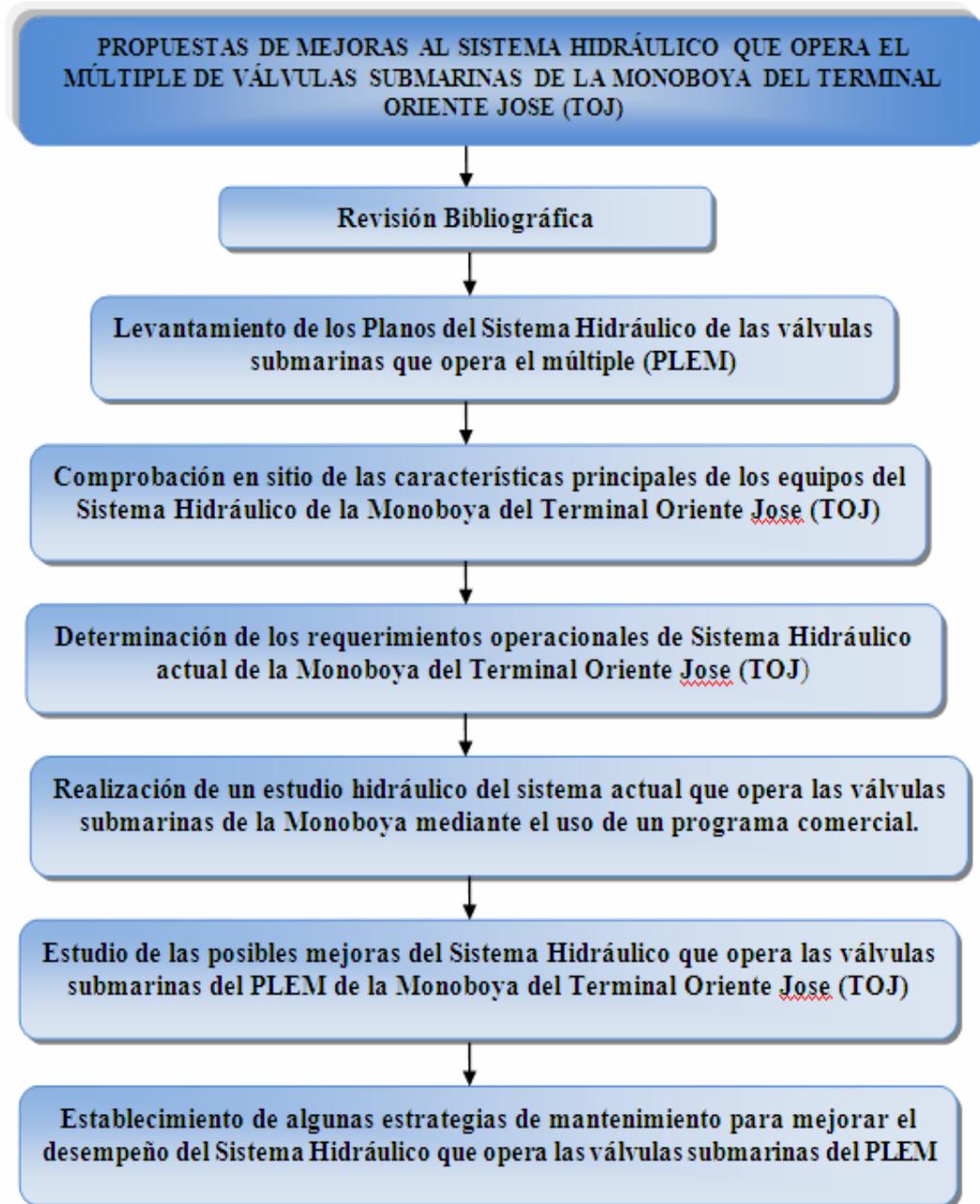


Figura 3.1. Diagrama de flujo de las etapas seguidas en la metodología del proyecto

3.2 DESARROLLO DEL TRABAJO

3.2.1 Revisión Bibliográfica

En esta etapa se consultó y recopiló toda la información referente al sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ). Esta búsqueda y recopilación incluyó la revisión del Manual de Operación y Mantenimiento de la Bluewater (empresa fabricante de la Monoboya), libros, así como también los planos DTI y demás fuentes que contenían la información necesaria sobre el tema en estudio. Esta etapa sentó las bases teóricas para la realización de los objetivos planteados.

3.2.2 Levantamiento de los planos del sistema hidráulico que opera el múltiple (PLEM) de válvulas submarinas

Debido a que el Terminal Oriente Jose (TOJ) no contaba con los planos del sistema hidráulico, se hizo necesario realizar un levantamiento en campo de los diferentes accesorios y dimensiones de las tuberías que forman parte del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del múltiple PLEM.

Cabe destacar, que el TOJ contaba con Diagramas de tuberías e instrumentación (DTI), sin embargo, no estaban actualizados y carecían de información técnica. Por tal motivo, se realizaron los isométricos de la parte del sistema hidráulico desde las bombonas de nitrógeno hacia los acumuladores, y de éstos hacia el panel de control (ver Apéndice B. Figs. B1, B2 y B3). En la Tabla 3.1 se pueden observar los resultados obtenidos en el levantamiento realizado en campo. En esta Tabla se puede notar que el material de los codos y tees es de acero ASTM-105. Las tuberías del sistema hidráulico son todas de acero ASTM-106 y la misma tiene una longitud total de 15,03 m aproximadamente y un diámetro de 1/2" (18,85 mm) para todo el sistema hidráulico.

TABLA 3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS ACCESORIOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

	Material	Diámetro	Cantidad
Tubería	ASTM-A106	(1/2") 18,85 mm de longitud 15,03 m	1
Tee	ASTM-A105	(1/2" x 1/2") 18,85 mm x 18,85 mm	10
Codos Largos de 90°	ASTM-A105	(1/2") 18,85 mm	18

Durante la visita a campo se realizó un levantamiento del sistema de telemetría y se verificó que se encontraba fuera de servicio, además se observó gran cantidad de piezas faltantes. El levantamiento se llevó a cabo para corroborar que la información de los manuales de operación y mantenimiento coincidiera con la información obtenida en campo.

3.2.3 Comprobación en sitio de las características principales de los equipos del sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose

El levantamiento en campo permitió la identificación del estado físico y las condiciones de operación de cada uno de los equipos (bombonas de nitrógeno, acumuladores de aceite, válvulas solenoides, sistema de telemetría, entre otros existentes en el sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ. Se verificó que el sistema hidráulico estaba constituido básicamente por cinco partes, las cuales se pueden ver en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Partes que conforman el sistema hidráulico de la Monoboya

SISTEMA HIDRÁULICO	
Sistema de presión	3 Acumuladores de aceite hidráulico. Capacidad 60 litros
	3 Bombonas de Nitrógeno. Capacidad 70 litros
Sistema de drenaje de aceite	Tanque de almacenamiento de Aceite. Capacidad 200 litros
Sistema Controlador de válvulas	3 Válvulas solenoides, y un conjunto de válvulas de bola, alivio, de seguridad, entre otras
Umbilical	Tipo electro- hidráulico
PLEM	2 Válvulas submarinas de bola

3.2.3.1 Sistema de presión

La característica más resaltante del sistema de presión es que se usa gas Nitrógeno, almacenado en 3 bombonas para presurizar el aceite hidráulico contenido en 3 acumuladores tipo pistón. En la Tabla 3.3 se muestra el estado físico y estado operativo en que se encuentran tanto las bombonas de nitrógeno como los acumuladores.

TABLA 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PRESIÓN

Equipos	Capacidad (litros)	Estado físico
Bombonas de Nitrógeno	70	Se encuentran en buen estado para el funcionamiento del sistema hidráulico.
Acumuladores tipo pistón	60	Se encuentran aparentemente en buen estado para operar, aunque poseen exteriormente puntos de óxido.(Ver Fig. 3.2)



Figura 3.2. Puntos de óxido encontrados en la pared de uno de los acumuladores tipo pistón

3.2.3.2 Sistema de drenaje de aceite

El sistema de drenaje está formado por un tanque con una capacidad de 200 l (0,2 m³) de aceite. El tanque tiene dos indicadores de nivel uno en la parte superior para el nivel máximo y otro inferior para el mínimo. Además, está conectado a una bomba manual que se encarga de re-presurizar el sistema cuando la presión de aceite no es suficiente en los acumuladores. El tanque se observó en buenas condiciones y está montado a lo largo de la torreta y la bomba manual está ubicada en la parte inferior de la plataforma de la misma.

3.2.3.3 Sistema Controlador de válvulas

El sistema controlador de válvulas está constituido básicamente por 3 válvulas solenoides en posición neutral y un conjunto de válvulas check, de seguridad, de bola, entre otras, las cuales se encuentran en un gabinete de acero inoxidable montado en la torreta que recibe el nombre de panel de control, el cual posee dos (2) manómetros, uno para medir la presión del aceite y otro para medir la presión del nitrógeno. Cada una de las válvulas solenoides está conectada a las tres válvulas submarinas de bola ubicadas en el PLEM.

Las válvulas solenoides ubicadas en el panel de control se encuentran en buen estado, las características técnicas de éstas se muestran en la Tabla 4.6. El panel de control se encuentra bastante deteriorado y presenta óxido (Ver Fig. 3.3) lo cual es producto del salitre. Adicionalmente, se observó que algunos de los cables que conectan el panel de control con el sistema de telemetría están desconectados.

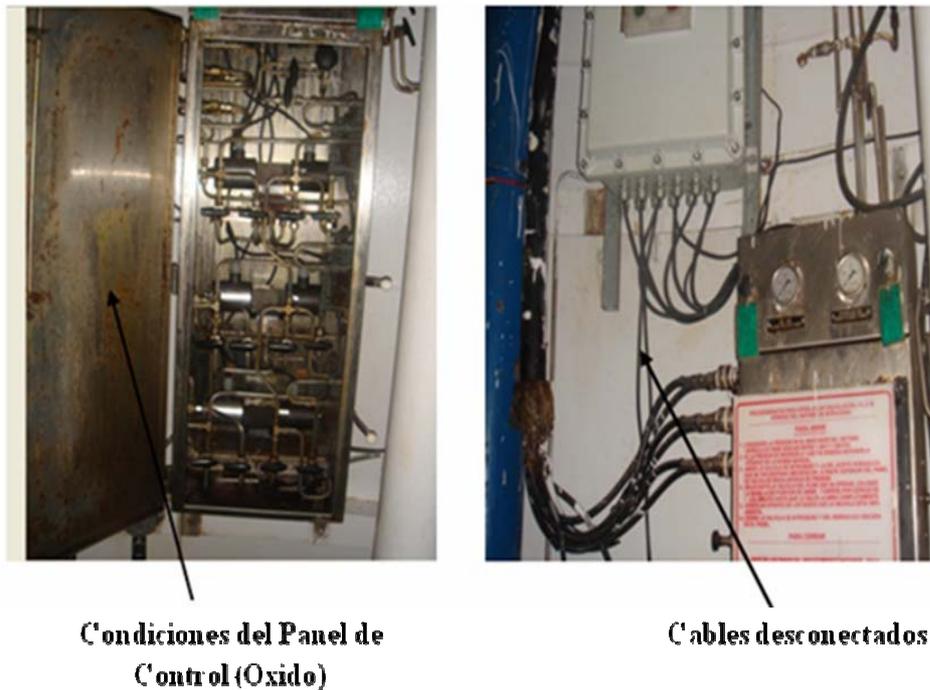


Figura 3.3. Panel de Control

3.2.3.4 Umbilical

El umbilical es de tipo blindado, y posee restricciones de doblado para prevenir que se doble, constituye la parte hidráulica y la conexión eléctrica entre la Monoboya y el PLEM. En la Tabla 3.4 se muestran las características del umbilical, así como su estado físico y operatividad.

TABLA 3.4. Características y estado físico del Umbilical

UMBILICAL	
Características	Estado físico
<ul style="list-style-type: none"> • Consiste de 6 mangueras hidráulicas para transportar aceite, un cable coaxial de 0,354” (9 mm) de diámetro y doce cables eléctricos de 0,039”, (1 mm) todos montados en una manguera protectora. • Presenta su configuración “Z” pre-establecida. • Las condiciones o características de diseño del umbilical son de acuerdo a las condiciones ambientales y a la profundidad (28 m) en la que se encuentra sumergido dentro del mar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se observó en buenas condiciones la manga protectora. • Los puntos de fijación del umbilical (salida de la Monoboya, llegada al PLEM) se encuentran en buenas condiciones generales, sin embargo los cables eléctricos se encuentran desmantelados (Ver Fig. 4.2). • No se apreciaron daños o irregularidades en su cubierta externa ni a nivel de las acometidas de las válvulas del PLEM. No obstante el crecimiento marino en el umbilical y sus accesorios limitaron significativamente la inspección visual de este.

3.2.3.5 PLEM (Pipe Line End Manifold)

La característica principal del PLEM es que tiene una presión de trabajo comprendida en un rango de 1450 psi a 1500 psi (100 a 103,42 bar) y está constituido por dos (2) válvulas de bola de 24" (0,6096 m) y una válvula de bola de 36" (0,914m), las cuales son accionadas por el sistema hidráulico, a través del umbilical el cual transporta el aceite hidráulico que representa la parte hidráulica y transmite la señal eléctrica a través del mismo.

3.2.4 Determinación de los requerimientos operacionales del sistema hidráulico actual de la Monoboya del Terminal Oriente Jose

Para determinar los requerimientos operacionales actuales del sistema hidráulico se tomaron cinco medidas de presión cada cinco minutos tanto para las bombonas de nitrógeno como para los acumuladores de aceite, estas medidas se realizaron cuando la Monoboya estaba embarcando crudo Merey 16 API a un buque. Las Medidas de presión obtenidas se muestran en la Tabla 3.5. Es importante resaltar que el tiempo de duración en el que se midieron las presiones fue por un lapso de 25 minutos por motivos de seguridad.

Los pasos que se llevaron a cabo para el funcionamiento del sistema hidráulico mientras se iniciaba el embarque de crudo consistió en:

- Abrir las válvulas que se encuentran ubicadas en la parte superior del panel de control, tanto para el gas nitrógeno como para el aceite. La presión indicada para los manómetros fue 60 bar (870,23 psi) para el aceite y 62 bar (900,00 psi) para el nitrógeno. Cabe resaltar, que se tomaron cinco medidas de presión tanto para el nitrógeno como para el aceite.
- Luego se seleccionaron las válvulas del PLEM para transportar el Crudo. Se colocó la manilla del panel en la posición abrir, se esperó un tiempo de un (1) minuto hasta que las válvulas estuviesen completamente abiertas, debido a que esto no sucedió, se procedió a cerrar las válvulas ubicadas arriba del panel para realizar el mismo proceso nuevamente.

Una vez transcurridos los cinco (5) intervalos de cinco (5) minutos cada uno, se constató que las presiones medidas en la Monoboya, no pudieron abrir las válvulas del PLEM, a pesar de haber sido re-presurizado el sistema a través de una bomba hidráulica accionada manualmente por el operador. Debido, a que al operar el sistema desde la torreta no se cuenta con un indicador para abrir las

válvulas submarinas, se procedió a sumergir a un buzo para supervisar y verificar la apertura de las válvulas. En la Fig. 3.4 se muestra la operación de los buzos durante la apertura de las válvulas del PLEM. Cabe destacar que cada vez que se va a operar el sistema hidráulico se deben realizar estos pasos, en caso contrario de no poderse abrir/cerrar las válvulas submarinas se debe proceder a realizarse de forma manual seleccionando en el panel de control ubicado en la torreta la válvula manual a operar.

TABLA 3.5. MEDICIONES DE PRESIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO EN FUNCIONAMIENTO.

Nº de Medidas	Tiempo (min)	Presión Aceite	Presión N ₂
1	5	60 bar (870,23 psi)	62 bar (900,00 psi)
2	10	60 bar (870,23 psi)	60 bar (870,23 psi)
3	15	60 bar (870,23 psi)	58 bar (841,22 psi)
4	20	58 bar (841,22 psi)	58 bar (841,22 psi)
5	25	55 bar (797,71 psi)	57 bar (826,71 psi)



Figura 3.4. Buzos durante la operación de apertura de las válvulas del PLEM

Además, de lo anteriormente realizado se midió la temperatura del aceite, usando un pirómetro óptico digital Marca Rayteck. El procedimiento se basó en medir la temperatura en los acumuladores, se realizaron cinco medidas las cuales se muestran en la Tabla 3.6.

TABLA 3.6. TEMPERATURAS DEL ACEITE EN EL ACUMULADOR PISTÓN.

Medidas	Temperaturas ° C
T₁	40,9
T₂	40,9
T₃	40,8
T₄	40,9
T₅	40,7

Para mayor facilidad al momento de realizar las simulaciones se usó una temperatura promedio para el aceite. La temperatura promedio obtenida fue 40,84 °C. Es importante resaltar, que para corroborar el tipo de aceite usado por el sistema hidráulico se tomó una muestra procedente del tanque de retorno y se analizó en el laboratorio del TOJ. Se verificó que los puntos de óxido de los acumuladores, el salitre producto del mar y las partículas de polvo no modificaron las propiedades del aceite.

El aceite utilizado por el sistema hidráulico de la Monoboya del terminal Oriente Jose es aceite Hidralub 32 Marca PDV y sus propiedades físicas de este tipo de aceite se muestran en la Tabla 3.7.

TABLA 3.7. PROPIEDADES DEL ACEITE HIDRÁULICO UTILIZADO POR EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MONOBOYA.

Propiedades físicas	Especificaciones
Gravedad específica	0,87
Viscosidad (cSt) a 40°C	32
Índice de Viscosidad (I.V.)	90
Punto de Inflamación (°C)	193

3.2.4.1 Presión de salida del aceite

La presión de salida del aceite del acumulador que se empleó para simular el comportamiento del sistema hidráulico, se calculó mediante la ecuación (3.2). En la Fig. 3.5 se muestra una representación esquemática de las variables usadas, para determinar la presión de salida del aceite.

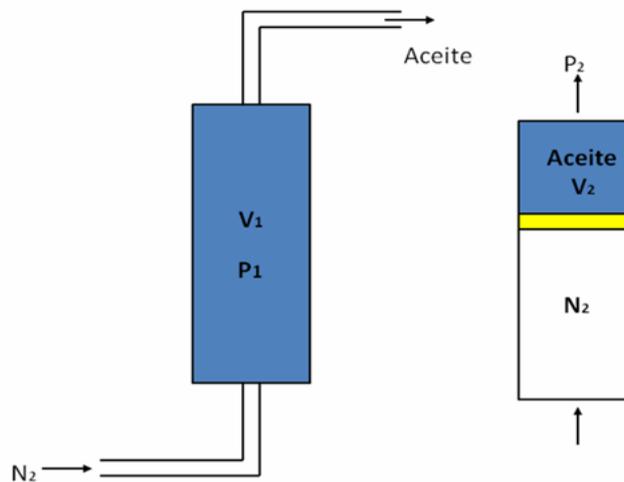


Figura 3.5. Representación esquemática del acumulador tipo pistón [31].

A continuación se muestra la expresión usada para calcular la presión de salida del aceite:

$$V_2 = \frac{\varepsilon \cdot P_1 \cdot V_1}{P_2} - \frac{\varepsilon \cdot P_1 \cdot V_1}{P_3} \quad (3.1)$$

despejando P_2 se obtiene:

$$P_2 = \frac{P_3 \cdot \varepsilon \cdot P_1 \cdot V_1}{V_2 \cdot P_3 + \varepsilon \cdot P_1 \cdot V_1} \quad (3.2)$$

donde:

- $V_2 =$ Volumen de fluido de descarga, l (pie³)
- $P_1 =$ Presión antes de la carga, kPa (psi)
- $P_2 =$ Presión de salida del aceite, kPa (psi)
- $P_3 =$ Presión máxima del acumulador, kPa (psi)
- $V_1 =$ Volumen nominal del acumulador de gas, l (pie³)
- $\varepsilon =$ Eficiencia del sistema, normalmente 0,95,

Se realizó el cálculo y se introdujeron los valores. Este cálculo fue para las condiciones de diseño, para las condiciones actuales se debe trabajar con las presiones actuales del sistema hidráulico.

Volumen de fluido de descarga (l)	Presión antes de la carga (psi)	Presión máxima del acumulador (psi)	Volumen nominal del acumulador de gas (l)	Eficiencia del sistema	Presión de salida del aceite (psi)
36	1475	3190	70	0,95	?

$$P_2 = \frac{3190 \text{ psi} \cdot 0,95 \cdot 1475 \text{ psi} \cdot 70 \text{ l}}{36 \text{ l} \cdot 3190 \text{ psi} + 0,95 \cdot 1475 \text{ psi} \cdot 70 \text{ l}}$$

$$P_2 = 1469,51 \text{ psi}$$

Para las condiciones actuales la presión de salida del aceite resultó:

$$P_2 = \frac{3190 \text{ psi} \cdot 0,95 \cdot 849,9 \text{ psi} \cdot 701}{361 \cdot 3190 \text{ psi} + 0,95 \cdot 849,9 \text{ psi} \cdot 701}$$

$$P_2 = 1052,14 \text{ psi}$$

3.2.5 Realización de un estudio hidráulico del sistema actual que opera las válvulas submarinas de la Monoboya mediante el uso de un programa comercial

Con los planos isométricos elaborados en el levantamiento en campo, las propiedades del aceite (Ver Tabla 3.7) y las características de los dispositivos del sistema se procedió a construir el sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ. Esto, con el fin de montar en el simulador PIPEPHASE versión 8.1 las condiciones actuales del sistema hidráulico. Las presiones actuales de trabajo usadas en las simulaciones se muestran en la Tabla 3.5.

Cabe destacar, que el estudio hidráulico se realizará tanto para las condiciones de diseño (Ver Tabla 3.8) como para las actuales para poder establecer las comparaciones respectivas.

TABLA 3.8. CONDICIONES DE DISEÑO PARA LOS ACUMULADORES Y BOMBONAS DE NITRÓGENO.

Presión de entrada a la bombona (psi)	Temperatura del Nitrógeno (°C)	Presión de entrada al acumulador (psi)	Presión de salida del acumulador (psi)
1475	93,33	1450	1469,51

3.2.6 Estudio de las posibles mejoras del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM de la Monoboya del Terminal Oriente Jose

Con los resultados obtenidos en las simulaciones, se procedió a establecer las hipótesis de las posibles causas que ocasionaron que el sistema hidráulico no realizara la apertura y/o cierre de las válvulas del PLEM.

3.2.7 Establecimiento de algunas estrategias de mantenimiento para mejorar el desempeño del sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM

Finalmente, se establecieron algunas estrategias de mantenimiento con el propósito de mejorar las operaciones y actividades que se realizan en la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ). Además, se sugirió programas de adiestramiento a los operadores, mecánicos y técnicos que formen parte de las labores y trabajos que se desempeñan en la Monoboya, esto con la finalidad de aprovechar la vida útil de los equipos y componentes del sistema hidráulico, para garantizar su buen estado.

Capítulo 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

*El hombre sabio
querrá estar siempre
con quien sea mejor que él.*
PLATÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el estudio del sistema hidráulico de las válvulas submarinas que operan el PLEM, así como la discusión de estos.

4.1 LEVANTAMIENTO DE PLANOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LAS VÁLVULAS SUBMARINAS QUE OPERA EL PLEM

Los resultados del levantamiento realizado en campo se dividieron en tres partes importantes del sistema hidráulico: la primera parte comprendió las tres (3) bombonas de nitrógeno conectadas a los tramos de tuberías y a los accesorios (codos, válvulas y tees), la segunda parte incluyó la conexión de los acumuladores tipo pistón y la última parte abarcó el tramo de tuberías desde los acumuladores hacia el panel de control.

Cabe resaltar, que la parte del panel de control hacia el PLEM forma parte imprescindible del sistema hidráulico. Sin embargo, debido al difícil acceso no se pudo realizar el levantamiento en campo y corroborar la información existente en los planos del Apéndice D (Ver Figs. D.3 y D.4).

La información recolectada en las visitas a campo se muestra en las Tablas E.1, E.2 y E.3 del Apéndice E, las cuales ayudaron a construir los planos isométricos del sistema hidráulico de la Monoboya (Ver detalles Apéndice B. Figs. B.1, B.2 y B.3).

Estos planos muestran las dimensiones y longitudes de cada tramo de tubería pertenecientes a las tres (3) partes en las que se dividió el sistema hidráulico.

4.1.1 Resultados del levantamiento para las bombonas de nitrógeno, los acumuladores de aceite y el panel de Control

Los planos isométricos del sistema hidráulico de las válvulas submarinas que operan el PLEM fueron realizados con la información levantada en campo. Estos planos se usaron para realizar la simulación del sistema mediante el programa comercial PIPEPHASE versión 8.1 tanto para las condiciones actuales como para las condiciones de diseño.

En los planos isométricos se utilizó un número de identificación para cada accesorio y tubería: (1) identificó la tubería del sistema hidráulico, (2) las tees, (3) los codos de 90° y (4) las válvulas de bola. Como se puede observar en las Figs. 4.1, 4.2 y 4.3. Todos los planos isométricos del sistema hidráulico se encuentran en el Apéndice B como se mencionó anteriormente.

En la Fig. 4.1 se muestra el isométrico para la parte del sistema hidráulico formado por las bombonas de nitrógeno. En el levantamiento en campo se verificó que en esta parte del sistema se encontraron seis (6) válvulas de bola, dos (2) tees y tres (3) codos de 90°. El material de la tubería fue acero ASTM 106 y es de 1/2" (18,85 mm) de diámetro. En la Tabla 4.1 se muestra de manera más detalladas las características de esta parte del sistema hidráulico.

En la Fig. 4.2 se muestran los tres (3) acumuladores tipo pistón conectado a los diez (10) tramos de tuberías que forman parte de esta sección del sistema. Durante el levantamiento en campo se observaron seis (6) válvulas de bola, dos (2) tee y tres (3) codos de 90°. El material y diámetro de la tubería fue el mismo para todo el sistema hidráulico. En la Tabla 4.2 se detallan las características de esta parte del sistema hidráulico.

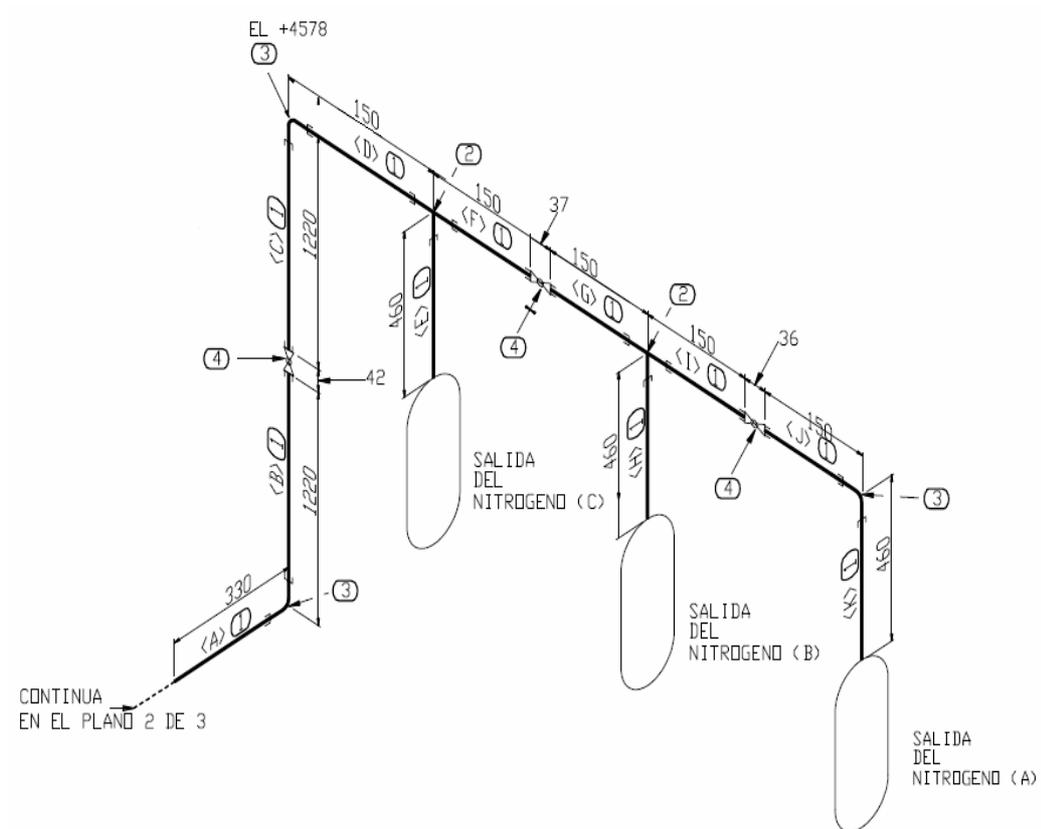


Figura 4.1. Plano Isométrico para las bombonas de nitrógeno del sistema hidráulico.

TABLA 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS CONECTADAS A LAS BOMBONAS DE NITRÓGENO

Sección de las bombonas de nitrógeno	
Material de la tubería	ASTM-106
Diámetro de la tubería	1/2" (18,85 mm)
Elementos del sistema	3 Bombonas de capacidad de 70 l y presión de 100 bar cada una
Cantidad de tramos	11
Longitud Total la tubería (mm)	5000
Nº de Válvulas de bola	6
Nº Codos	3
Nº Tee	2

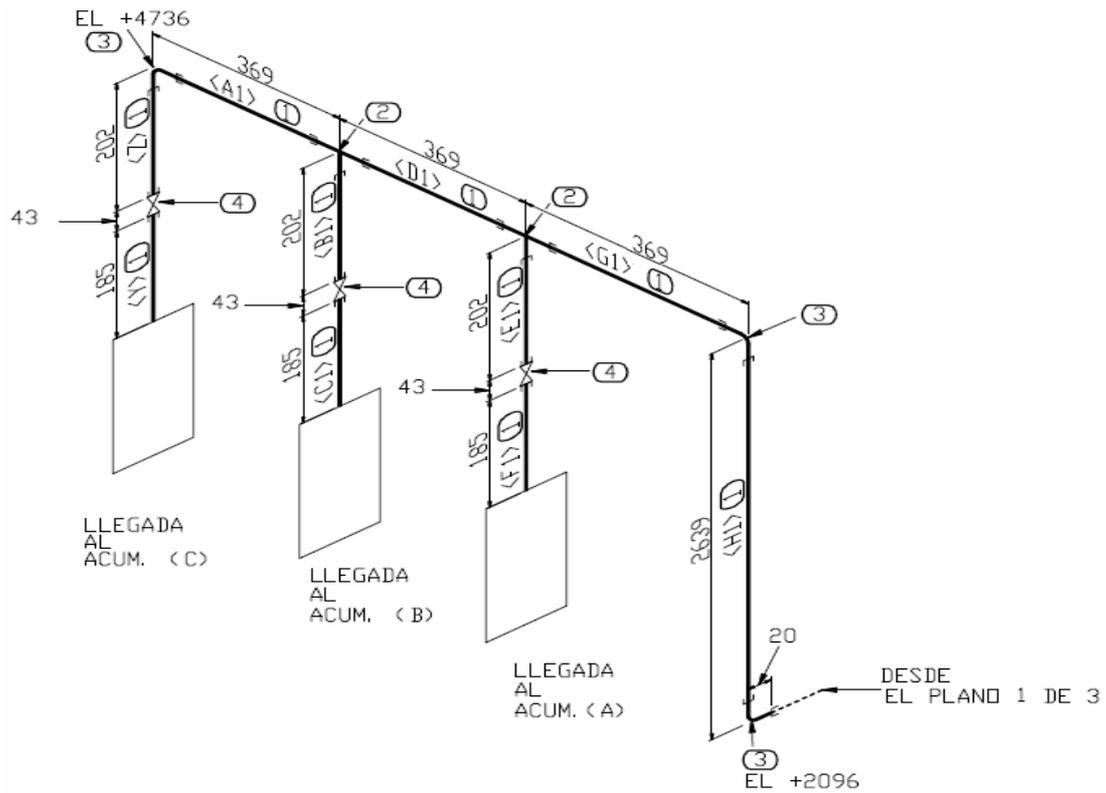


Figura 4.2. Plano Isométrico para los acumuladores de aceite del sistema hidráulico

TABLA 4.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS CONECTADAS A LOS ACUMULADORES

Sección de los acumuladores pistón	
Material de la tubería	ASTM-106
Diámetro de la tubería	1/2" (18,85 mm)
Elementos del sistema	3 Acumuladores capacidad de 60 l cada uno
Cantidad de tramos	10
Longitud Total la tubería (mm)	4961
Nº de Válvulas de bola	6
Nº Codos	3
Nº Tee	2

En la Fig 4.3 se muestra la parte del sistema hidráulico desde los acumuladores tipo pistón hacia el panel de control. En esta se encontraron tres (3) válvulas de bola, dos (2) tees y cuatro (4) codos de 90°. Como se señaló anteriormente el material y diámetro de la tubería fue el mismo en todo el sistema.

Cabe destacar, que todas las válvulas de bola presentes en el sistema son iguales. El material de los codos y tees es acero ASTM-105 y las características de estos son iguales en las tres partes en que se dividió el sistema hidráulico. En la Tabla 4.3 se muestran las características de la sección que va desde los acumuladores hacia el panel de control.

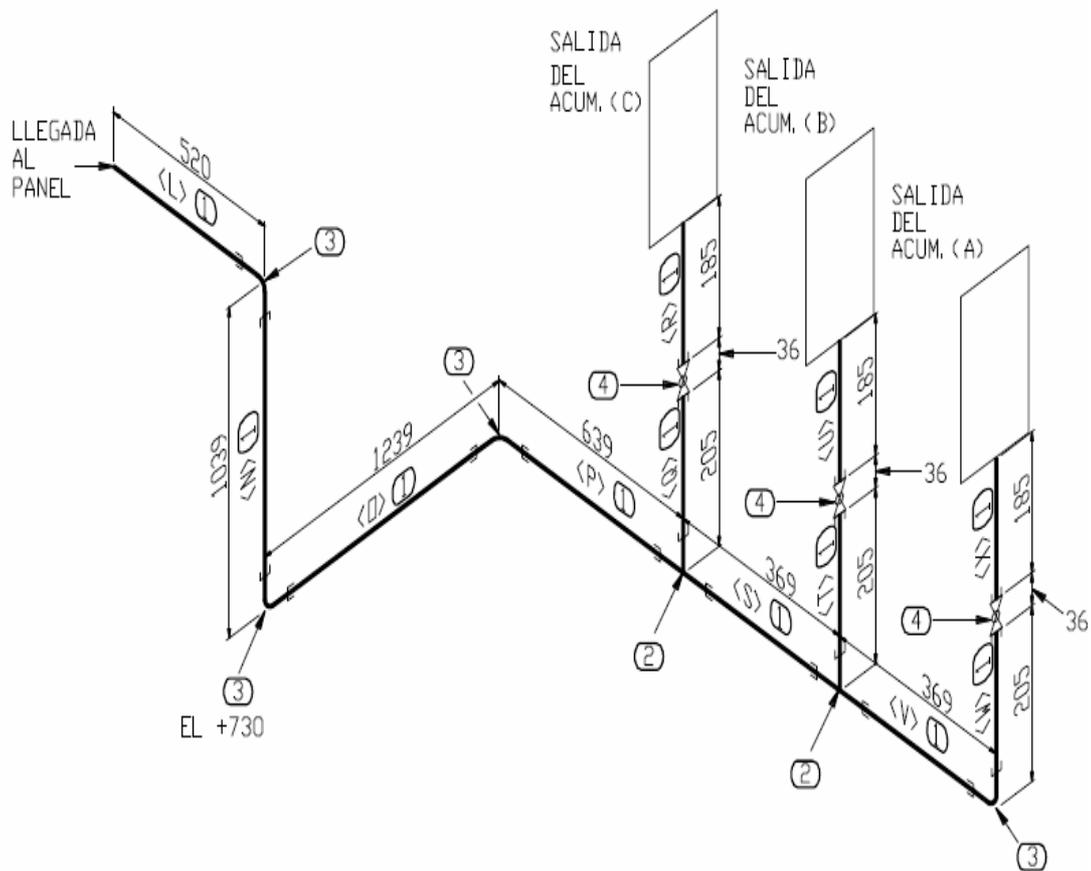


Figura 4.3. Plano Isométrico para los acumuladores de aceite hacia el panel

TABLA 4.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS CONECTADAS DESDE LOS ACUMULADORES HACIA EL PANEL DE CONTROL

Sección de los acumuladores hacia el panel de control	
Material de la tubería	ASTM-106
Diámetro de la tubería	1/2" (18,85 mm)
Elementos del sistema	3 Acumuladores capacidad de 60 l cada uno
Cantidad de tramos	12
Longitud Total la tubería (mm)	5070
Nº de Válvulas de bola	6
Nº Codos	4
Nº Tee	2

4.2 COMPROBACIÓN EN PLANOS Y SITIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MONOBOYA

De acuerdo, con la información levantada durante la visita a campo se comprobó tanto en sitio como en plano las características técnicas y el estado operativo de los equipos del sistema hidráulico de la Monoboya, y se verificó si los equipos se encontraban en sitio y plano. Toda esta información se encuentra en las Tablas desde la 4.4 hasta la 4.9.

En la Tabla 4.4 se muestra las principales características técnicas de los acumuladores tipo pistón. Durante el levantamiento en campo se pudo verificar que los acumuladores se encuentran en sitio y en estado operativo, y están ubicados de acuerdo al plano suministrado por el TOJ. En la Tabla 4.5 se muestran las principales características de las bombonas de Nitrógeno. Con la visita a campo se comprobó que las bombonas se encuentran en sitio y en estado operativo. Además, se verificó que la ubicación de estas concuerda con la de los planos (Apéndice D. Figs. D1, D2 y D3) del sistema hidráulico facilitado por personal del TOJ.

TABLA 4.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ACUMULADORES DE ACEITE TIPO PISTÓN

ACUMULADORES TIPO PISTÓN	
Marca	Bolenz and Shaper
Serie	AK60
Modelo	AK60-220-18-0-0-1
Capacidad (l)	60
Presión máxima designada (bar)	220
Estado Físico	Se encuentran en sitio y en estado operativo

TABLA 4.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS BOMBONAS DE NITRÓGENO

BOMBONAS DE NITRÓGENO	
Marca	Bolenz and Shaper
Modelo	A3-2016
Serie	J-2016-2
Capacidad (l)	70
Presión máxima permitida (bar)	150
Presión de trabajo (bar)	100
Temperatura del nitrógeno (°C)	93,33
Estado Físico	Se encuentran en sitio y en estado operativo.

En la Tabla 4.6 se muestra las características de las válvulas solenoides, las cuales junto con un grupo de válvulas de seguridad, válvulas check y válvulas de bola,

se encuentran ubicadas dentro de un gran gabinete de acero inoxidable conocido como panel de Control. Todo este conjunto de válvulas incluyendo las tres (3) válvulas solenoides se encuentran en estado operativo.

TABLA 4.6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS VÁLVULAS SOLENOIDES DIRECCIONABLES

VÁLVULAS SOLENOIDES	
Marca	Parker
Serie	D1VW
Modelo	D1VW-001CNK
Torque (pulg/lb)	150
Presión máxima designada (bar)	344,74
Voltaje (V)	12
Corriente (A)	1,9
Estado Físico	Se encuentran en sitio y en estado operativo

En la Tabla 4.7 se muestra las características de las válvulas de bola ubicadas en el PLEM. La comprobación en sitio no permitió la ubicación de estas válvulas con respecto a los planos, debido a que se encuentran aproximadamente a 28 m de profundidad en el lecho marino. Sin embargo, se supo por personal del TOJ que las tres (3) válvulas del PLEM se encuentran en sitio de acuerdo a lo indicado en los planos y en estado operativo por el continuo embarque de crudo que se realiza en el terminal.

A pesar de que el sistema hidráulico no realiza la apertura y/o cierre de las válvulas submarinas del PLEM, estas se encuentran operando de manera normal bajo la supervisión de un personal de buceo.

TABLA 4.7. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS VÁLVULAS DE BOLA SUBMARINAS DE 24” Y 36” UBICADAS DEL PLEM.

VÁLVULAS SUBMARINAS	
Marca	Shafer
Serie	SH-19349
Modelo	1-5499-S
Material	PBV ANSI 300
Presión máxima (bar)	155,13
Presión de Trabajo (bar)	100
Estado Físico	Se encuentran en sitio, en estado operativo

Adicional, a los equipos antes mencionados también forma parte del sistema hidráulico, un tanque de almacenamiento de aceite, una bomba manual para el manejo de aceite y una bomba aire-líquido para el nitrógeno. Todos estos equipos se encuentran en estado operativo y en sitio de acuerdo con la información contenida en los planos. El tanque de almacenamiento de aceite es de acero inoxidable y tiene una capacidad de 200 l. Las características técnicas de la bomba manual y la bomba de aire-líquido se muestran en la Tabla 4.8 y 4.9.

TABLA 4.8. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOMBA MANUAL

BOMBA MANUAL	
Marca	Cassapa
Modelo	PMS-45
Presión máxima (bar)	250
Masa (lbs)	7,26
Desplazamiento (pulg/ciclos)	2,745
Estado Físico	Se encuentra en sitio y en estado operativo

TABLA 4.9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOMBA AIRE-LÍQUIDO

BOMBA AIRE- LÍQUIDO	
Marca	Haskel INC.
Modelo	GFS-35
Presión máxima (bar)	125
Flujo volumétrico (l/min)	900
Estado Físico	Se encuentra en sitio y en estado operativo

4.2.1 Características de los equipos y componentes del sistema de telemetría

El sistema de telemetría está formado por diversos equipos de: alarma, automatización, telecomunicaciones y energía, entre otros, los cuales ayudan a desempeñar las actividades de la Monoboya del TOJ.

4.2.1.1 Equipos de Alarma

Durante la visita a campo se comprobaron las características de los equipos de alarma que forman parte de la telemetría del sistema hidráulico. Se verificó que en la cubierta de la Monoboya están instalados un faro y una sirena para la detección de intrusos. Ambos equipos se encontraron en buen estado y operativos. Las características de estos equipos se muestran en la Tabla 4.10.

TABLA 4.10. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE ALARMA UBICADOS EN LA CUBIERTA

	Faro	Sirena
Marca	Orga	Orga
Modelo	FML200EX	MICROSOUND23X
Estado Físico	Operativo y en buen estado	Operativo y en buen estado

La unidad de telemetría ubicada en la torreta controla las funciones de los equipos e instrumentos que forman parte del sistema hidráulico (acumuladores de aceite, bombonas de nitrógeno, panel de control, umbilical y PLEM). Un ejemplo de esto, se tiene cuando el sistema de telemetría emite una señal de alarma en el momento en que la presión de aceite y nitrógeno se encuentran por debajo del rango de presión establecido 62 bar (900 psi) para el nitrógeno y 58 bar (841, 2 psi) para el aceite. También, esta unidad de telemetría controla la señal de alerta en caso de un mal funcionamiento durante la apertura y/o cierre de las válvulas del PLEM, entre otras actividades de operación de la Monoboya.

4.2.1.2 Equipos de Automatización

Los equipos de automatización que forman parte del sistema de telemetría son tres (3) RTUs: dos (2) ubicadas en la Monoboya (una en la cubierta y otra en la torreta) y otra ubicada en la sala de control de tierra firme. En las Tablas 4.11, 4.12 y 4.13 se muestran las características técnicas de cada una de las RTUs.

TABLA 4.11. CARACTERÍSTICAS DE LA RTU DE LA CUBIERTA

RTU DE LA CUBIERTA	
Marca	DCI
Modelo	UMCII
Voltaje (V)	120 AC
Estado Físico	Se encuentra no operativa, sólo está la caja con 6 botoneras, la cual posee conexiones ½" (18,85 mm)

TABLA 4.12. CARACTERÍSTICAS DE LA RTU DE LA TORRETA

RTU DE LA TORRETA	
Marca	DCI
Modelo	UMCII
Voltaje (V)	120 AC
Estado Físico	No operativa, sólo está la caja con 6 botoneras, la cual posee conexiones ½" (18,85 mm)

Con la visita a campo se comprobó que las tres (3) RTUs están no operativas. Sin embargo, en la sala de control se consiguieron conexiones para la PC usada por el sistema SCADA y una antena en buen estado para la señal de transmisión de la RTU (Ver Tabla 4.13). Es importante resaltar, que a pesar que las RTUs no se encuentran en sitio se verificó que la ubicación que tenían dentro de la Monoboya y la Sala de

Control corresponde al indicado en el plano, debido a que se encontraron las cajas donde estaban instaladas y dentro de estas ciertas conexiones de ½” (18,85 mm).

TABLA 4.13. CARACTERÍSTICAS DE LA RTU UBICADA EN SALA DE CONTROL

RTU DE SALA DE CONTROL	
Marca	DCI
Modelo	UMCII
Voltaje (V)	120 AC
Estado Físico	No operativa, posee conexiones para PC, PLC disponible y una antena operativa para el sistema de transmisión de la Sala

4.2.1.3 Equipos de Telecomunicaciones

Durante la visita a campo se observaron algunos equipos que permiten emitir o recibir información acerca de las actividades y operaciones que se llevan a cabo tanto en la Monoboya como en la sala de control. Los equipos existentes en la Monoboya se operan a través de radio enlace frecuencia UHF (Frecuencia Ultra Alta) de 452,725 Mhz. En las Tablas 4.14, 4.15 y 4.16 se muestran las características de los equipos de telecomunicaciones ubicados en la cubierta, torreta y sala de control.

En la Tabla 4.14 se muestra las características de la antena omnidireccional y radio modem ubicados en la cubierta de la Monoboya. Cabe destacar, que en la cubierta la antena está desconectada y no se encontró ningún radio.

En la Tabla 4.15 se muestra las características técnicas de la antena y radio modem ubicados en la torreta. Durante la visita a campo se observó que ambos equipos se encuentran operativos. La antena está montada en el techo de la torreta y el

radio que se encontró esta enlazado a la unidad de telemetría que está ubicada en ésta. Se comprobó que la ubicación de ambos equipos concuerda con la información contenida en los planos.

TABLA 4.14. CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA OMNIDIRECCIONAL DE 3 DB Y RADIO UBICADOS EN LA CUBIERTA.

ANTENA OMNIDIRECCIONAL DE 3 db		RADIO
Marca	Kathrein	No se encontró ningún equipo
Modelo	K751121	
Estado Físico	No operativa. Está instalada en un soporte de 2" sobre el techo	

TABLA 4.15 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA Y RADIO UBICADOS EN LA TORRETA.

	ANTENA	RADIO
Marca	Kathrein	3B- Engineering
Modelo	K711621	TFM4200, 1200bd
Estado Físico	Operativa y está montada en la rejilla del techo de la torreta.	Operativo y enlazado a la unidad de telemetría en la torreta

En la Tabla 4.16 se muestra las características de los equipos de telecomunicaciones instalados en sala de control. Se encontró una antena de 9 decibelios (db) instalada en el techo de sala de control y un radio modem enlazado a la unidad de telemetría, ambos equipos se encuentran en estado operativo y en sitio conforme al plano suministrado por el TOJ.

TABLA 4.16. CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA Y RADIO UBICADOS EN SALA DE CONTROL.

	ANTENA	RADIO
Marca	Kathrein	3B- Engineering.
Modelo	K731221	TFM4200, 1200bd
Estado Físico	Operativa y está instalada en el techo de sala de control.	Operativo y enlazado a una unidad de telemetría ubicada en el techo de la sala de control

4.2.1.4 Equipos de Energía

El sistema de energía de la Monoboya viene dado por cuatro (4) baterías selladas-seca, dos (2) paneles solares, un cargador solar ubicado en la cubierta, un bloque de baterías en la torreta y un UPS (Suministro de energía ininterrumpible) en sala de control, el cual es un dispositivo que gracias a sus baterías puede proporcionar energía eléctrica tras un apagón, a todos los equipos de sala de control que estén conectados a él.

En la Tabla 4.17 se muestra las características del equipo de electricidad (baterías) ubicado en la torreta. De acuerdo con la comprobación en campo se verificó que las baterías están en sitio pero no operativas. En la Tabla 4.18 se muestra las características del equipo de electricidad ubicado en la cubierta, el cual está formado por: cuatro (4) baterías selladas-secas, dos (2) paneles solares (Ver Fig. 4.4) y un cargador solar, todos en sitio y en estado operativo. Los paneles solares se encuentran conectados a una tubería ARG diámetro 1" (25,40 mm) y su voltaje máximo es de 16 V. Además, se encontraron en la torreta dos (2) bloques de baterías instalados en carcasas tubulares de 10" (254 mm) y conectados a un interruptor. Marca: Cortem, Modelo: CFF-1, los cuales no están operativos.

TABLA 4.17. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE ELECTRICIDAD UBICADO EN LA TORRETA.

	BATERIAS
Marca	Orga
Modelo	BEX450

Serie	450 Ah
Estado Físico	No operativas

TABLA 4.18. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE ELECTRICIDAD UBICADO EN LA CUBIERTA.

	BATERÍAS SELLADAS- SECA	PANELES SOLARES	CARGADOR REGULAR SOLAR
Marca	MK Powered	Shell Solar System	Specialty Concepts
Modelo	E31SLDG	RSM45ZE	ASC-12
Voltaje (V)	12 dc	14 dc	12 dc
Potencia (W)	-	45	-
Estado Físico	En sitio y en estado Operativo	En sitio y en estado Operativo aunque al momento de la inspección se encontró sucio. (Ver Fig.4.4)	En sitio y en estado Operativo



Figura 4.4. Paneles Solares de la Monoboya del TOJ

Es importante resaltar que con la comprobación en sitio se verificó que todos los equipos pertenecientes al sistema de telemetría se encontraron ubicados de acuerdo al plano suministrado por el Terminal Oriente Jose (Ver Apéndice D).

4.3 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Con el propósito de realizar el estudio hidráulico y determinar las condiciones actuales de operación, se midieron cinco presiones tanto para el nitrógeno como para el aceite durante la descarga de crudo. Los resultados de las presiones medidas en campo se muestran en la Tabla 3.5.

Para el estudio hidráulico se tomó una presión promedio. Éstas resultaron 58,6 bar (849,9psi) para el aceite y 59,81 bar (867,5 psi) para el nitrógeno, con estos valores de presión se procedió a simular en PIPEPHASE versión 8.1 las condiciones actuales del sistema hidráulico.

Los requerimientos operacionales que se necesitan conocer para llevar a cabo la simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico se muestran en la Tabla 4.19.

TABLA 4.19. REQUERIMIENTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA SIMULAR LAS CONDICIONES ACTUALES.

Presión de N ₂ (psi)	Presión de aceite (psi)	Viscosidad del aceite cSt	Temperatura de aceite ° C	Temperatura de N ₂ ° C
867,5 psi	849,9psi	32	40,84	93,33

4.3.1 Determinación de la presión de salida del aceite disponible para transportar el aceite hidráulico hacia el panel de control

Para determinar las condiciones actuales de operación del sistema hidráulico y diagnosticar su estado, se calculó la presión de salida del aceite de los acumuladores a través de la Ec (3.2). Este valor de presión resultó ser 72,54 bar (1052,14 psi) respectivamente.

En la Tabla 4.20 se muestra las presiones necesarias para simular las condiciones actuales del sistema hidráulico. La cual incluye las presiones promedios tanto del aceite como del nitrógeno medidas en campo y la presión de salida del aceite.

TABLA 4.20. PRESIONES DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA SIMULAR LAS CONDICIONES ACTUALES.

Presión de N₂ (psi)	Presión de aceite (psi)	Presión Salida de aceite (psi)
867,5 psi	849,9psi	1052,14

4.4 ESTUDIO HIDRÁULICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El estudio hidráulico en las condiciones actuales del sistema desde las bombonas hasta los acumuladores y desde éstos al panel de control se llevó a cabo introduciendo en el simulador PIPEPHASE versión 8.1 los valores de presión medidos en campo junto con las propiedades de viscosidad del aceite y temperaturas tanto del nitrógeno como del aceite. Los requerimientos operacionales actuales son mostrados en las Tablas 4.19 y 4.20.

4.4.1 Simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico

Para simular las condiciones actuales del sistema hidráulico, se tomaron las presiones promedios medidas en la Monoboya durante el embarque de crudo hacia un buque. Por medidas de seguridad, no se pudo permanecer en la Monoboya durante todo el embarque. Sin embargo, el tiempo total de duración de la operación de embarque de crudo fue de aproximadamente cinco (5) horas, información suministrada por personal del TOJ.

Conocidas las presiones promedios y las propiedades tanto del aceite como del nitrógeno se procedió a simular las condiciones actuales de los sistemas hidráulicos desde las bombonas hacia los acumuladores (Sistema de N₂) y desde los acumuladores hasta el panel de control (Sistema de aceite). Cabe destacar, que la presión en el panel

de control fue de 823,8 psi, la cual se midió en la Monoboia de la misma manera que se midieron las presiones tanto en los acumuladores como en las bombonas.

En la Fig. 4.5 se muestra el diagrama de simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde las bombonas de N₂ hacia los acumuladores. Con esta simulación se buscó conocer el flujo de nitrógeno que entra a los acumuladores para desplazar los pistones y con esto transportar el aceite necesario a través del sistema. Se obtuvo como resultado un flujo másico total de nitrógeno de 985,95 kg/h, donde por cada acumulador fluye 328,65 kg/h. La norma PDVSA L-TP 1.5 [13] establece que la velocidad crítica para un gas diatómico como el N₂, es 390,1 m/s (Ver Apéndice A). En base a esto, la velocidad máxima obtenida por el simulador para las condiciones actuales ocurre en la tubería P053 (18,0 m/s) y está por debajo de la velocidad crítica 390,1 m/s (Ver Tabla 4.21).

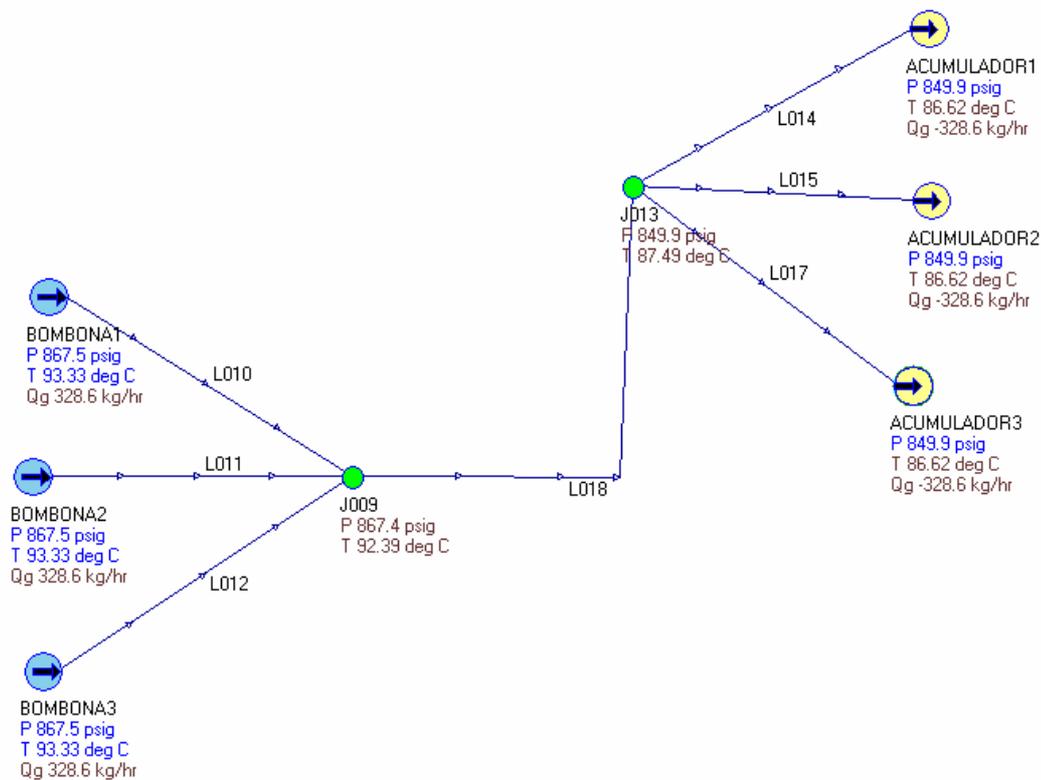


Figura 4.5. Diagrama de simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde las bombonas de N₂ hacia los acumuladores.

TABLA 4.21. VALORES OBTENIDOS POR PIPEPHASE PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DESDE LAS BOMBONAS DE N₂ HACIA Y LOS ACUMULADORES.

Línea	Tubería	Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)	Temp. (°C)	Velocidad (m/s)	Flujo másico (kg/h)
L010	P020	867,5	867,5	93,33	5,98	328,65
	P021	867,5	867,4	92,86	5,98	328,65
L011	P029	867,5	867,5	93,33	5,98	328,65
	P030	867,5	867,4	92,86	5,98	328,65
L012	P033	867,5	867,5	93,33	5,98	328,65
	P034	867,5	867,4	92,86	5,98	328,65
L018	P062	867,4	866,6	92,39	17,91	985,95
	P038	865,7	864,9	91,98	17,93	985,95
	P067	863,9	863,2	91,57	17,94	985,95
	P070	862,2	861,4	91,15	17,95	985,95
	P039	860,5	858,6	90,73	17,96	985,95
	P059	857,6	856,6	89,69	17,97	985,95
	P065	855,6	854,9	89,16	17,98	985,95
	P052	853,9	852,0	88,77	17,99	985,95
	P053	851,1	850,5	87,76	18,00	985,95
L014	P041	849,9	849,9	87,49	6,00	328,65
	P042	849,9	849,8	87,06	5,99	328,65
L015	P045	849,9	849,9	87,49	6,00	328,65
	P046	849,9	849,8	87,06	5,99	328,65
L017	P049	849,9	849,9	87,49	6,00	328,65
	P050	849,9	849,8	87,06	5,99	328,65

En la Tabla 4.21 se pueden observar los resultados obtenidos (presión, temperatura, velocidad y flujo másico) para el sistema hidráulico desde las bombonas de N₂ hacia los acumuladores. En la Fig. 4.5 se muestra que el flujo másico para cada una de las bombonas de nitrógeno es igual a (328,65 kg/h.) y también es igual en cada uno de los acumuladores (328,65 kg/h.), debido a que estos elementos tienen características iguales.

En la Fig. 4.6 se muestra el diagrama de simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control. Con esta simulación se buscó conocer el flujo de aceite necesario que sale de cada uno de los acumuladores hacia el panel. Por cada acumulador fluye aproximadamente 5,74 m³/h, para así obtener un caudal total de aceite en el panel de control de 17,22 m³/h. En la Tabla 4.22 se muestra los resultados de la simulación desde los acumuladores hacia el panel. Massey [7] establece que la velocidad crítica para una tubería de 25 mm de diámetro que maneja aceite es 28,4 m/s. En base a esto, la velocidad máxima obtenida por el simulador para las condiciones actuales ocurre en la línea L012 (17,52 m/s) y está por debajo de la velocidad crítica de 21,41 m/s (Ver Tabla 4.22).

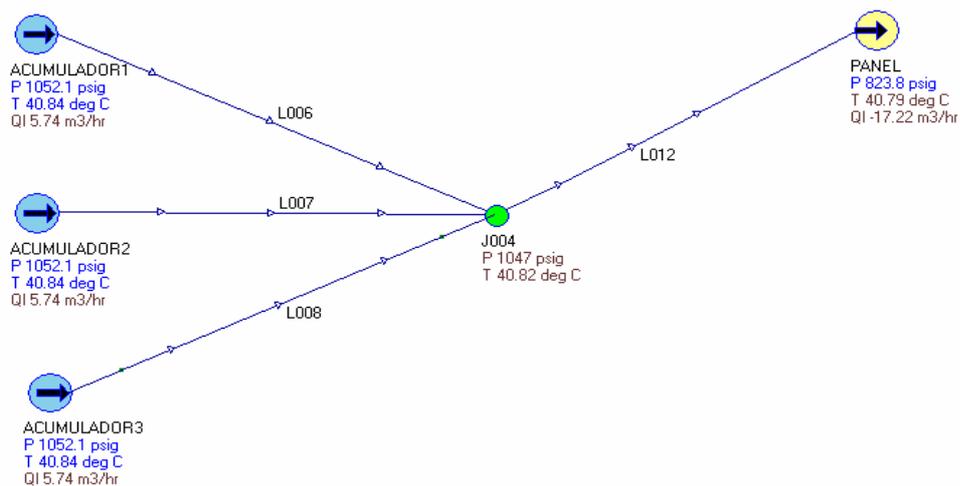


Figura 4.6. Diagrama de simulación de las condiciones actuales del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control

Las condiciones actuales del sistema hidráulico desde el panel de control hacia el PLEM no se realizaron debido a que la presión del aceite en el panel de control 823,8 psi (56,799 bar) fue menor a la presión necesaria en el PLEM para abrir las válvulas submarinas 1450 psi (100 bar). Cabe destacar, que en campo no hubo manera de medir la presión en el PLEM, debido al difícil acceso a este.

Tabla 4.22. Valores obtenidos por PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel

Línea	Tubería	Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)	Temp. (°C)	Velocidad (m/s)	Caudal aceite (m ³ /h)
L006	P031	1052,1	1051,5	40,84	5,84	5,74
	P010	1051,2	1050,6	40,84	5,84	5,74
	P034	1049,0	1047,0	40,83	5,84	5,74
L007	P028	1052,1	1051,5	40,84	5,84	5,74
	P029	1051,2	1050,6	40,84	5,84	5,74
	P035	1049,0	1047,0	40,83	5,84	5,74
L008	P024	1052,1	1051,5	40,84	5,84	5,74
	P025	1051,2	1050,6	40,84	5,84	5,74
	P038	1049,0	1047,0	40,83	5,84	5,74
L012	P015	1035,1	1016,0	40,82	17,52	17,22
	P016	998,1	917,6	40,82	17,52	17,22
	P017	899,6	863,0	40,80	17,52	17,22
	P018	845,1	823,8	40,79	17,52	17,22

4.4.2 Simulación de las condiciones de diseño según el fabricante (Bluewater

Para realizar el estudio hidráulico de las condiciones de diseño se usaron las presiones sugeridas por el fabricante. Debido, a que éste establece un rango de presión en las bombonas de N₂ entre 1450 psi - 1500 psi (100 bar - 103,42 bar), se usó una presión

promedio de 1475 psi, con ésta y la presión de salida del aceite de los acumuladores 1469,51 psi (calculada con la Ec. (3.2) y las condiciones de diseño) se realizó la simulación en PIPEPHASE del sistema hidráulico desde las bombonas de N₂ hacia los acumuladores (Ver Fig. 4.7). Según las recomendaciones del fabricante se usó una presión a la entrada de los acumuladores de 1450 psi y una temperatura del nitrógeno en las bombonas de 93,33 °C, ya que es la presión y la temperatura necesarias para que el sistema pueda funcionar.

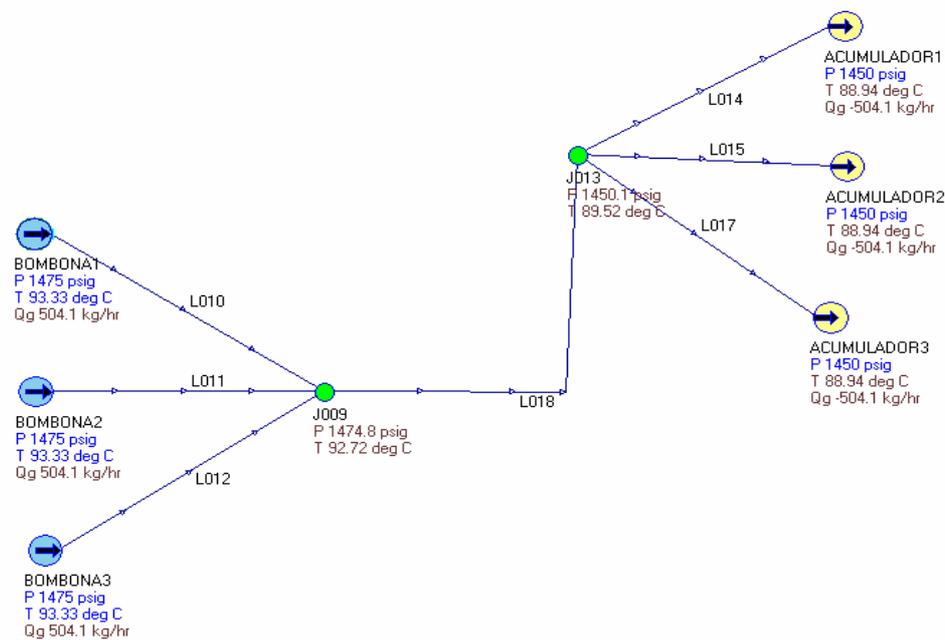


Figura 4.7. Diagrama de simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde las bombonas de N₂ hacia los acumuladores.

Con esta simulación se buscó conocer el flujo de nitrógeno que se necesita para desplazar los pistones de los acumuladores y transportar el aceite necesario a través del sistema, para luego comparar estos resultados con los flujos obtenidos con las condiciones actuales. Esta simulación permitió obtener un flujo másico total de 1512,22 kg/h donde por cada acumulador fluye 504,07 kg/h. En la Tabla 4.23 se muestra los valores obtenidos por el simulador para este caso. En esta tabla se puede observar que las velocidades en las tuberías se encuentran por debajo del valor de la velocidad crítica (21,41 m/s)

TABLA 4.23. VALORES OBTENIDOS POR PIPEPHASE PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DESDE LAS BOMBONAS DE N₂ HACIA LOS ACUMULADORES

Línea	Tubería	Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)	Temp. (°C)	Velocidad (m/s)	Flujo másico (kg/h)
L010	P020	1475,0	1475,0	93,33	5,54	504,07
	P021	1474,9	1474,9	93,03	5,54	504,07
L011	P029	1475,0	1475,0	93,33	5,54	504,07
	P030	1474,9	1474,9	93,03	5,54	504,07
L012	P033	1475,0	1475,0	93,33	5,54	504,07
	P034	1474,9	1474,9	93,03	5,54	504,07
L018	P062	1474,8	1473,7	92,72	16,61	1512,22
	P038	1472,4	1471,3	92,46	16,61	1512,22
	P067	1469,9	1468,8	92,19	16,61	1512,22
	P070	1467,5	1466,4	91,92	16,61	1512,22
	P039	1465,0	1462,3	91,65	16,61	1512,22
	P059	1461,0	1459,5	90,96	16,61	1512,22
	P065	1458,2	1457,1	90,62	16,61	1512,22
	P052	1455,8	1453,1	90,36	16,61	1512,22
L014	P041	1451,7	1451,0	89,70	16,61	1512,22
	P041	1450,1	1450,0	89,52	5,57	504,07
L015	P042	1450,0	1450,0	89,23	5,57	504,07
	P045	1450,1	1450,0	89,52	5,57	504,07
L017	P046	1450,0	1450,0	89,23	5,57	504,07
	P049	1450,1	1450,0	89,52	5,57	504,07
	P050	1450,0	1450,0	89,23	5,57	504,07

En la Fig. 4.8 se muestra el diagrama de simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control. Para este caso

se usó la presión de salida de aceite calculada con la Ec (3.2), la cual resultó 1469,51 psi. Con ésta presión, el caudal de aceite que llega al panel ($18 \text{ m}^3/\text{h}$) y las propiedades del aceite (temperatura, viscosidad y gravedad específica) se buscó conocer la presión de aceite en el panel. Esta operación permitió verificar que la información del caudal suministrada por personal del TOJ ($18 \text{ m}^3/\text{h}$) y la presión de salida del aceite calculada eran las necesarias para garantizar el funcionamiento del sistema. La presión de aceite en el panel resultó 1458,3 psi (100,55 bar), la cual se encuentra dentro de las condiciones de presión sugeridas por el fabricante. Además, con la simulación se calculó el caudal de aceite que sale de cada acumulador (aproximadamente $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$). En la Tabla 4.24 se muestra los valores obtenidos por el simulador desde los acumuladores hacia el panel de control.

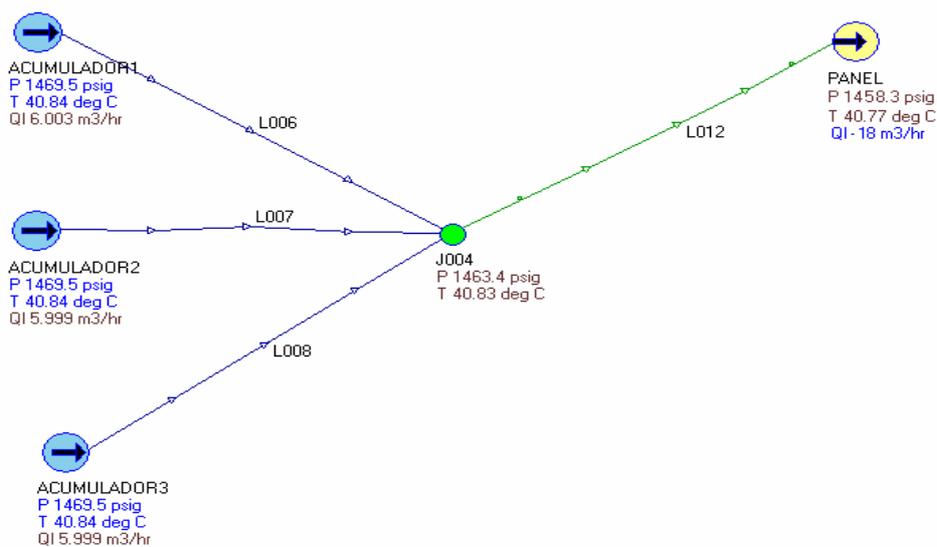


Figura 4.8. Diagrama de simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel de control.

Es importante resaltar, que algunas líneas del sistema se dividen en varios tramos de tuberías que a simple vista no se detallan en los diagramas de simulación. Sin embargo, en las Tablas desde la 4.21 hasta la 4.24 se muestra cada uno de los tramos en que se divide la línea. Por ejemplo, la línea L006 está formada por tres (3) tramos el P031, P010 y P034, mientras que en el diagrama se observa como si fuera

una sola tubería. Los accesorios (válvulas, codos y tees) no se reflejan en el diagrama aunque se tomaron en cuenta al momento de simular.

TABLA 4.24. VALORES OBTENIDOS POR PIPEPHASE PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DESDE LOS ACUMULADORES HACIA EL PANEL

Línea	Tubería	Presión Entrada (Psi)	Presión Salida (Psi)	Temp. Salida (°C)	Velocidad (m/s)	Caudal aceite (m ³ /h)
L006	P031	1469,5	1468,5	40,84	6,08	6,003
	P010	1468,2	1467,2	40,83	6,08	6,003
	P034	1465,2	1463,3	40,82	6,08	6,003
L007	P028	1469,5	1468,5	40,84	6,08	5,999
	P029	1468,2	1467,2	40,83	6,08	5,999
	P035	1465,2	1463,3	40,82	6,08	5,999
L008	P024	1469,5	1468,5	40,84	6,08	5,999
	P025	1468,2	1467,2	40,83	6,08	5,999
	P038	1465,2	1463,3	40,82	6,08	5,999
L012	P015	1463,2	1462,5	40,81	18,23	18
	P016	1462,3	1461,5	40,80	18,23	18
	P017	1461,2	1460,5	40,78	18,23	18
	P018	1460,2	1458,3	40,78	18,23	18

En la Tabla 4.24 se puede observar que las velocidades en las tuberías se encuentran por debajo del valor de la velocidad crítica. La velocidad máxima obtenida ocurre en la línea L012 (18,23 m/h) y está por debajo de la velocidad crítica 21,41 m/s.

Con la presión en el panel de 1458,3 psi (100,52 bar), la presión mínima necesaria en el PLEM 1450 psi (100 bar) y las dimensiones del umbilical (Ver Fig.

D4) se simuló el sistema hidráulico desde el panel de control hasta el PLEM (Ver Fig. 4.9). Con ésta simulación, se determinó que el flujo volumétrico en el PLEM fue de 18 m³/h. De acuerdo, a las condiciones de diseño sugeridas por el fabricante el sistema se debe mantener a una presión no menor de los 1450 psi y con un flujo de aceite de 18 m³/h para que el sistema hidráulico pueda realizar de manera automática la apertura y/o cierre de las válvulas submarinas del PLEM. En caso contrario, el sistema debería emitir una señal de alerta para ser re-presurizado. En la Tabla 4.25 se muestra los resultados obtenidos por PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde el panel de control hasta el PLEM.

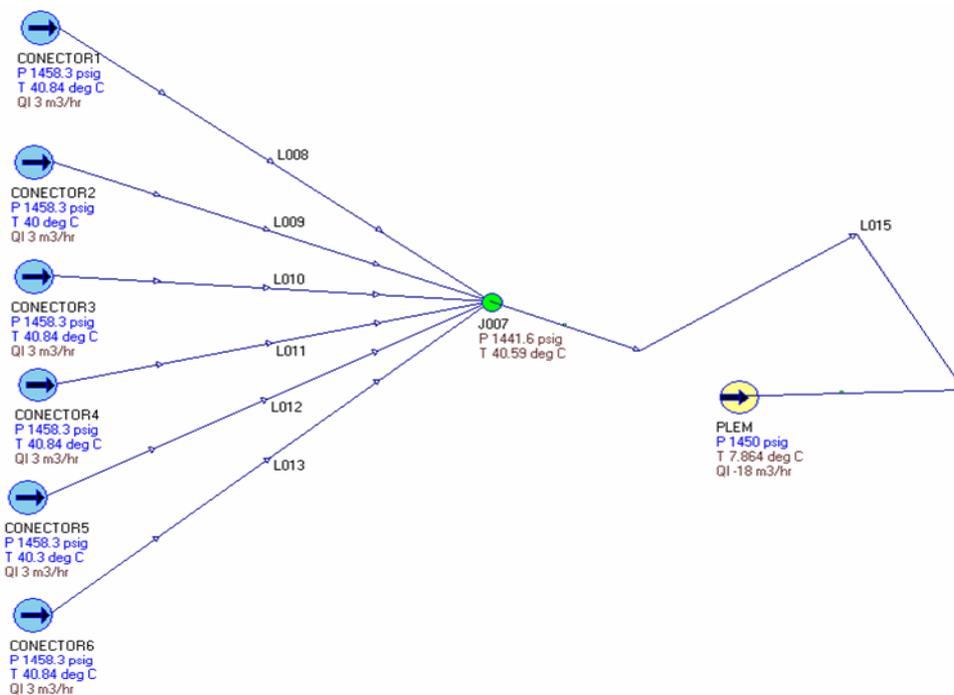


Figura 4.9. Diagrama de simulación de las condiciones de diseño del sistema hidráulico desde el panel hasta el PLEM.

Tabla 4.25. Valores obtenidos por PIPEPHASE para el sistema hidráulico desde el panel hasta el PLEM

Línea	Tubería	Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)	Temp. (°C)	Velocidad (m/s)	Flujo (m ³ /h)
L008	P019	1458,3	1441,6	40,84	11,89	3,05
L009	P021	1458,3	1441,6	40,84	11,88	3,05
L010	P023	1458,3	1441,6	40,84	11,89	3,05
L011	P025	1458,3	1441,6	40,84	11,89	3,05
L012	P027	1458,3	1441,6	40,84	11,88	3,05
L013	P039	1458,3	1441,6	40,84	11,89	3,05
L015	P031	1441,6	1443,7	40,59	1,09	18,27
	P032	1443,7	1445,0	25,52	1,08	18,05
	P033	1444,9	1447,6	17,47	1,07	17,93
	P034	1447,5	1450,0	11,52	1,06	17,85

4.5 PROPUESTAS DE MEJORAS PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE

Para realizar las propuestas de mejoras al sistema hidráulico fue necesario apoyarse en los cálculos hidráulicos realizados por el simulador. Una vez evaluados y estudiados cada uno de los componentes y equipos se pudieron presentar las siguientes propuestas de mejoras:

- Recarga de las bombonas de Nitrógeno del sistema hidráulico

Debido a que el fabricante de la Monoboya sugiere que el sistema hidráulico debe estar presurizado en un rango de presión entre 1450 psi y 1500 psi (100 bar y 103,42 bar) para su funcionamiento, se propone recargar las bombonas de nitrógeno a una presión de 1475 psi, la cual es un promedio del rango de presión recomendado por el fabricante.

- Cambio del aceite usado por el sistema

Se propone el cambio de aceite usado por el sistema por uno de menor viscosidad, ya que se presume se pudiese aumentar la presión en el sistema hidráulico y disminuir las pérdidas en la tubería.

- Instalación de una bomba hidráulica automática conectada al tanque de retorno

El sistema hidráulico es re-presurizado a través de una bomba manual accionada por un operador, por lo que muchas veces no se garantiza la presión necesaria para la apertura de las válvulas. Debido a esto, se propone el reemplazo de la bomba manual por una bomba hidráulica accionada automáticamente cuando la presión de aceite en el sistema haya caído por debajo de los 841,21 psi (58 bar).

- Mejoramiento del sistema de telemetría

Se propone mejorar el sistema de telemetría, ya que se encuentra fuera de servicio, por falta de algunos equipos y sistemas, y los que se hallan en sitio están en malas condiciones. Esto trae consecuencias en el funcionamiento de las actividades y operaciones que se llevan a cabo en la Monoboya.

Es importante resaltar, que las propuestas fueron planteadas manteniendo las dimensiones del sistema original del fabricante.

4.5.1 Recarga de las Bombonas de Nitrógeno del sistema hidráulico

Es necesario recargar las bombonas de nitrógeno hasta una presión de 1475 psig, para lo cual es necesario introducir 175,5 kg/h en cada bombona (la diferencia entre los flujos máscicos de las condiciones de diseño y actuales calculados anteriormente (Ver Figs. 4.5 y 4.7).

4.5.2 Cambio de aceite

Con el aceite propuesto, se comprobó que la presión de trabajo del sistema aumenta considerablemente con relación a las condiciones de diseño, garantizándose la presión necesaria para la apertura y/o cierre de las válvulas del PLEM. El aceite sugerido fue la Marca (Shell Tellus Oil 22), las propiedades se muestran en la Tabla 4.26.

TABLA 4.26. PROPIEDADES DEL ACEITE SHELL TELLUS OIL 22

Propiedades físicas	Especificaciones
Gravedad específica	0,866
Viscosidad (cSt) a 40 °C	22
Índice de Viscosidad (I.V.)	100
Punto de Inflamación (°C)	204

Se evaluó el sistema hidráulico desde los acumuladores hacia el panel usando el aceite propuesto de viscosidad 22 cSt (Ver Fig. 4.10). Para este caso, se introdujo en el simulador las propiedades ya conocidas del sistema, con el caudal de aceite que llega al panel (18 m³/h) y la presión de salida del aceite de los acumuladores (1469,51 psi), la cual fue calculada a través de las condiciones de diseño. Cabe destacar, que para esta simulación se consideró que el sistema hidráulico referente a las bombonas de N₂ debe estar en buen estado y presurizado con una presión de 1475 psi.

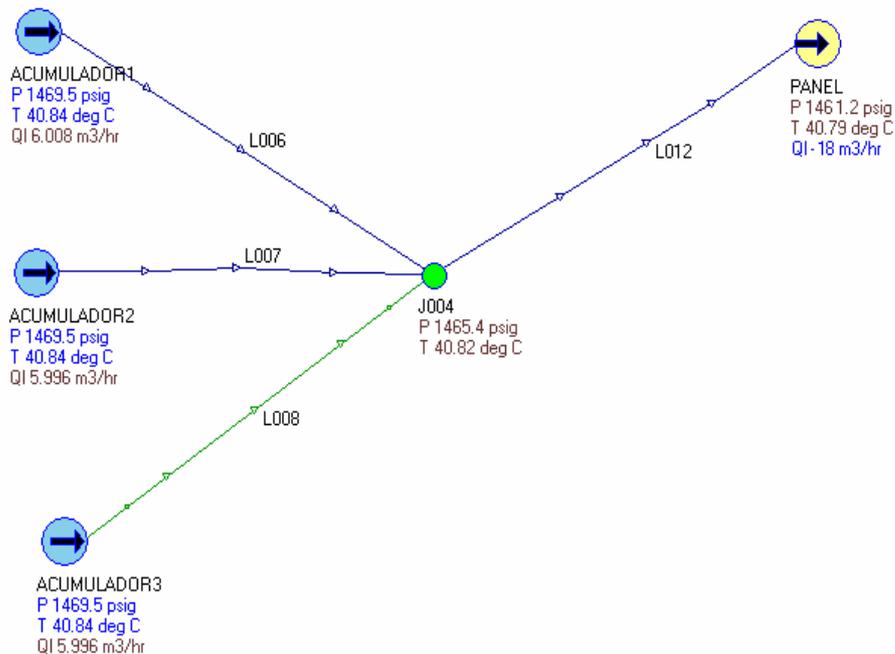


Figura 4.10. Simulación del sistema hidráulico desde los acumuladores hasta el panel.

Con la simulación se comprobó que con el uso del aceite marca Shell Tellus Oil 22, la presión aumenta en el sistema hidráulico con relación al aceite sugerido por el fabricante. La presión obtenida en el panel de control usando el aceite propuesto fue de 1461,2 psi (100,75 bar), la cual si se compara con la presión a las condiciones de diseño 1450 psi, se observa que con el uso de un aceite de menor viscosidad se puede aumentar considerablemente la presión en el sistema. En las Tablas 4.27 y 4.28 se muestran las comparaciones entre la presión, velocidad y flujo en el sistema hidráulico de los acumuladores para el aceite propuesto y las condiciones de diseño.

TABLA 4.27. COMPARACIÓN ENTRE LAS PRESIONES CON EL ACEITE PROPUESTO Y LAS CONDICIONES DE DISEÑO EN EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LOS ACUMULADORES

Línea	Tubería	Presiones de acuerdo a las Condiciones de diseño		Presiones con aceite propuesto	
		Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)	Presión Entrada (psi)	Presión Salida (psi)

L006	P031	1469,5	1468,5	1469,5	1469,1
	P010	1468,2	1467,2	1468,8	1468,4
	P034	1465,2	1463,3	1467,0	1465,4
L007	P028	1469,5	1468,5	1469,5	1469,1
	P029	1468,2	1467,2	1468,8	1468,4
	P035	1465,2	1463,3	1467,0	1465,4
L008	P024	1469,5	1468,5	1469,5	1469,1
	P025	1468,2	1467,2	1468,8	1468,4
	P038	1465,2	1463,3	1467,0	1465,4
L012	P015	1463,2	1462,5	1465,3	1464,5
	P016	1462,3	1461,5	1464,2	1463,2
	P017	1461,2	1460,5	1463,0	1462,8
	P018	1460,2	1458,3	1462,2	1461,2

De acuerdo, a los resultados mostrados en la Tabla 4.28 los caudales de aceite que salen de los acumuladores usando el aceite propuesto son casi iguales a los flujos para las condiciones de diseño, esto debido a que el caudal de aceite usado en el simulador para el panel de control fue de $18 \text{ m}^3/\text{h}$, lo cual es una condición del sistema hidráulico. Cabe destacar, que el uso de un aceite de menor viscosidad ayudaría a mantener la presión en el panel en un valor de 1461,2 psi (100,75 bar), es decir, 14 psi por encima del valor de presión obtenido con el aceite actual. Lo más importante de este estudio es que usar un aceite de menor viscosidad ($< 32 \text{ cSt}$) que el utilizado por el sistema ayudaría a aumentar la presión en el panel siempre y cuando la presión en las bombonas de nitrógeno se encuentre en 1475 psig.

TABLA 4.28. COMPARACIÓN ENTRE LAS VELOCIDADES Y LOS CAUDALES DE ACEITE PARA LAS CONDICIONES DE DISEÑO Y EL ACEITE PROPUESTO EN EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LOS ACUMULADORES.

Condiciones de diseño	Con aceite propuesto
-----------------------	----------------------

Línea	Tubería	Velocidad (m/s)	Flujo de aceite (m ³ /h)	Velocidad (m/s)	Caudal de aceite (m ³ /h)
L006	P031	6,08	6,003	6,09	5,996
	P010	6,08	6,003	6,09	5,996
	P034	6,08	6,003	6,09	5,996
L007	P028	6,08	5,999	6,09	6,008
	P029	6,08	5,999	6,09	6,008
	P035	6,08	5,999	6,09	6,008
L008	P024	6,08	5,999	6,09	6,008
	P025	6,08	5,999	6,09	6,008
	P038	6,08	5,999	6,09	6,008
L012	P015	18,23	18	18,23	18
	P016	18,23	18	18,23	18
	P017	18,23	18	18,23	18
	P018	18,23	18	18,23	18

4.5.3 Instalación de una bomba conectada al tanque de retorno

Con la instalación de una bomba hidráulica conectada al tanque de almacenamiento de aceite (Tanque de retorno), se puede sustituir la actual bomba manual usada para re-presurizar el sistema. Debido a que cuando se trata de poner en marcha el sistema hidráulico la presión de aceite se encuentra por debajo de lo establecido por el fabricante, por lo que los operadores y técnicos se ven en la necesidad de re-presurizar el sistema a través de la bomba manual, la cual muchas veces no proporciona la suficiente presión para el funcionamiento del sistema.

Para la selección de la bomba a proponer para el sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ se estudiaron ciertas consideraciones como: (1) el espacio físico que se dispone para la colocación de la bomba y por estas dimensiones (3,5 m) no se

puede colocar más de una (1), (2) la bomba debe manejar una presión de 1450 psi (9997,43 kPa) y (3) la bomba a seleccionar debe manejar aceite.

4.5.3.1 Selección del equipo de bombeo adecuado

Para llevar a cabo la selección de la bomba se realizó la intercepción de la curva del sistema (Ver Apéndice A, Ec. (A.1.3) con la curva característica de la bomba propuesta para el sistema hidráulico del Terminal Oriente Jose (TOJ). El punto de operación de la bomba corresponde aproximadamente a un flujo de 18 m³/h, una altura de 1289 m y una potencia de 140 kW. En la Fig 4.11 se muestra el punto de operación de la bomba propuesta.

Se calculó la altura neta en la succión (NPSH) para saber si la bomba propuesta cavita. Esto se hizo a través de la Ec (A.2.1) (Ver apéndice A), considerando la presión de vapor del fluido ($P_v = 0,5 \text{ Pa}$) a la temperatura de diseño (40,84 °C) y la presión atmosférica circundante ($P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$). La altura neta positiva en la succión calculada ($NPSH_D$) fue 13,24 m.

La bomba seleccionada no produce cavitación en el sistema debido a que el $NPSH_D$ es mayor que el $NPSH_R$ (2,33 m). En la Fig. 4.12 se muestran las curvas características de la bomba suministrada por el fabricante (Ver Apéndice G. Catálogo 1).

La bomba centrífuga propuesta es de la marca SIHCombite modelo CWHC 400090 y las características técnicas de ésta se muestran en la Tabla 4.29.

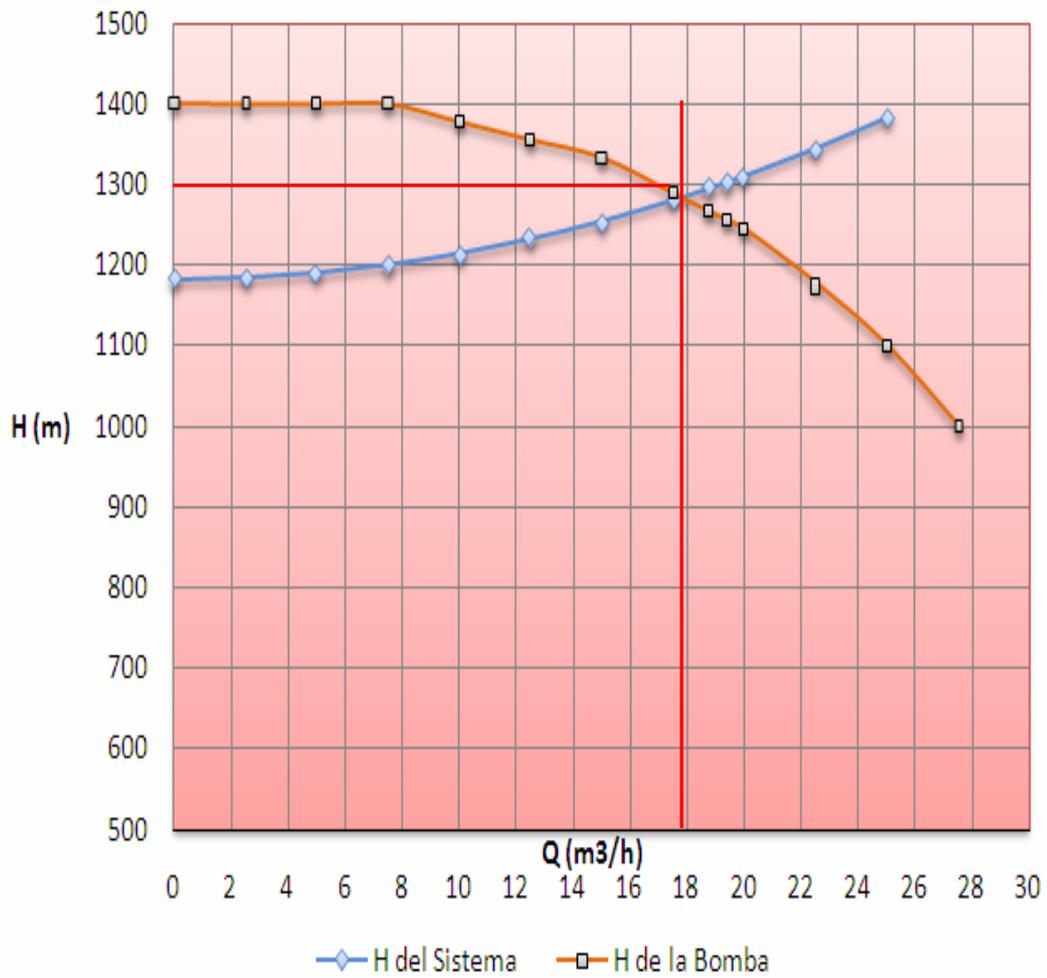


Figura 4.11. Punto de operación de la Bomba propuesta

SIHI Combitube

RANGE CURVES SIHI Combitube CWHC 400090

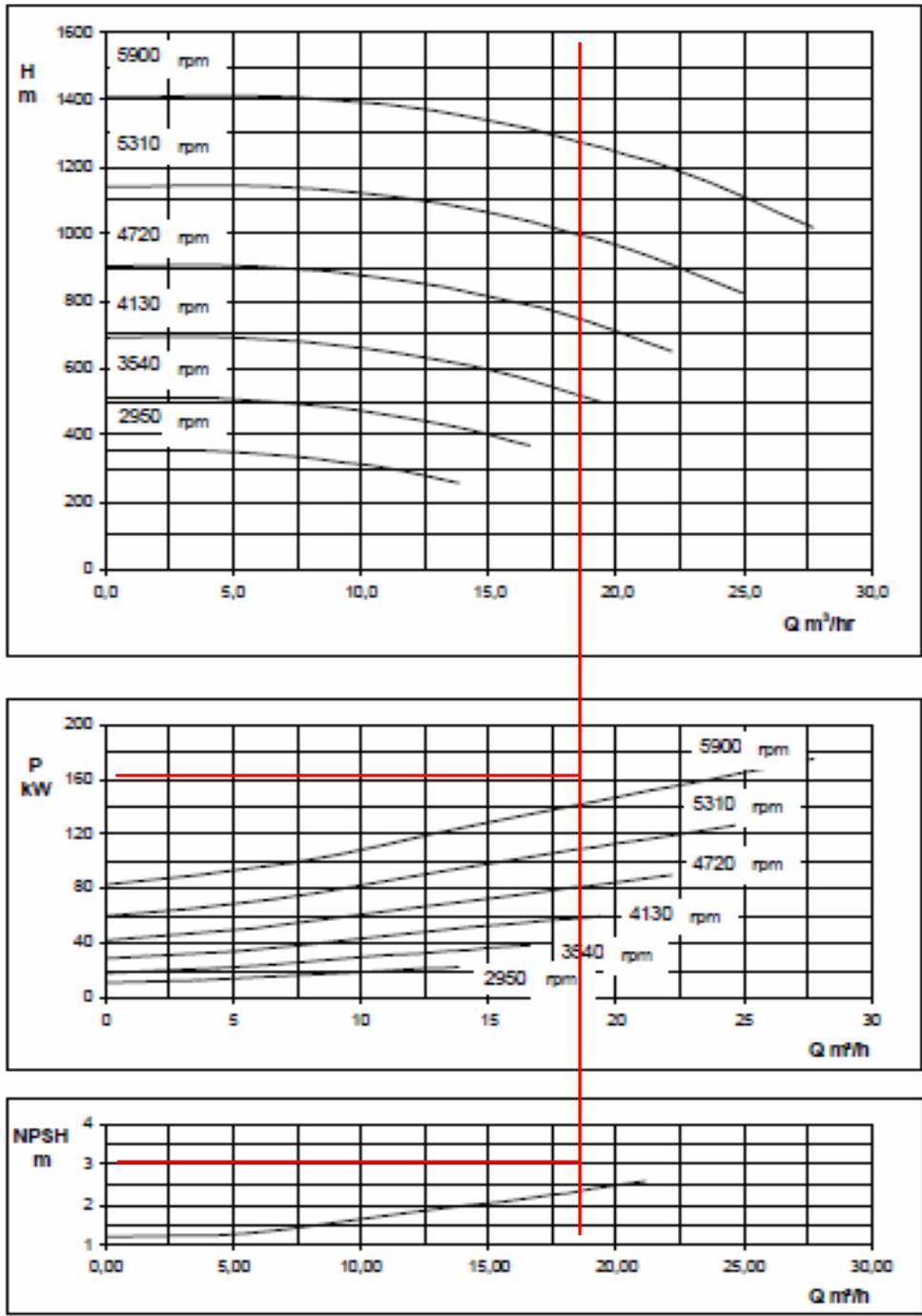


Figura 4.12. Curvas Características de la Bomba SIHI 400090

4.5.3.2 Bomba seleccionada

Las características técnicas de la bomba seleccionada se muestran en la Tabla 4.29.

TABLA 4.29. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA CENTRIFUGA PROPUESTA

Características Operacionales de la Bomba		
Marca:		SIHI ^{Combitube}
Modelo:		400090
Máxima aplicación de velocidad (rpm)		5900
Capacidad (m³/h)		19,1
Altura de la bomba (m)		1288,88
Potencia (kW)		140
Presión Máxima de trabajo (bar)		160

Además, de la bomba centrífuga propuesta anteriormente en la Tabla 4.29, se propone una bomba de desplazamiento positivo, debido a que este tipo de bomba es de uso común para fluidos viscosos. Los parámetros usados para la selección de ésta bomba fueron la presión 1450 psi (100 bar) y el caudal de aceite de 18 m³/h necesarios para el funcionamiento del sistema hidráulico. La selección de una de las dos (2) bombas va a depender de la evaluación de costos considerada por la Gerencia del Terminal Oriente Jose. Las características de la bomba de desplazamiento positivo propuesta se muestran en la Tabla 4.30 (Ver Apéndice G. Catálogo 2).

TABLA 4.30. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PROPUESTA

Características Operacionales de la Bomba		
Marca:		Parker
Modelo:		P2145
Aplicación de velocidad	(rpm)	2200
Capacidad	(m³/h)	18
Eficiencia	(%)	88,76
Potencia	(kW)	60

En la Fig. 4.13 se muestra un diagrama del sistema hidráulico con la bomba propuesta. Se recomienda, colocar tanto a los tres (3) acumuladores como a la bomba un sensor de bajo nivel de presión para producir señales de alarma, o control del tipo **ON- OFF**, al momento de caer la presión en los acumuladores.

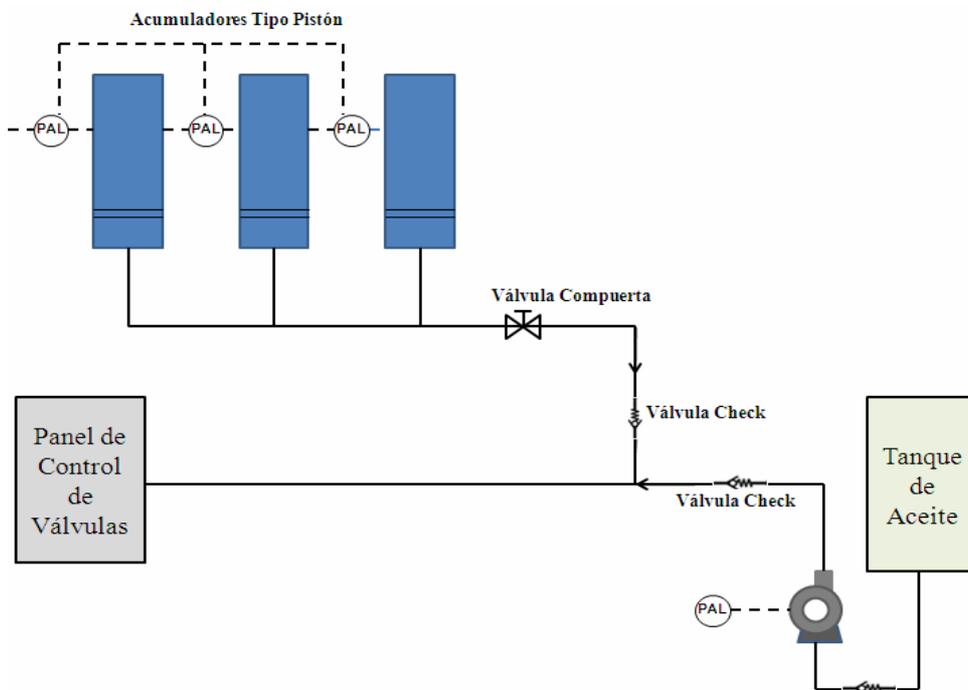


Figura 4.13. Diagrama de arreglo de la bomba

En la Fig. 4.13 se observa que existen dos líneas de tubería para hacer circular el aceite a través del sistema hidráulico. La primera línea de la bomba hacia el panel

de control y la segunda una línea auxiliar desde la bomba hacia los acumuladores. Cabe destacar, que no se puede realizar el drenaje de aceite por las dos líneas de tubería del sistema hidráulico al mismo tiempo.

4.5.4 Mejoramiento del sistema de telemetría

El sistema de control que forma parte del sistema hidráulico de la Monoboya se encuentra fuera de servicio, por falta de algunos equipos y otros que se encuentran en malas condiciones. Esto, trae consecuencias en el funcionamiento de las actividades y operaciones que se llevan a cabo en la Monoboya. El sistema de telemetría debe emitir una señal de alerta cuando el sistema hidráulico necesite ser re-presurizado, también debe controlar la apertura y cierre de las válvulas del PLEM, entre otras tareas que influyen en el buen desempeño del sistema hidráulico.

4.5.4.1 Sistema de telemetría Propuesto

El sistema de telemetría propuesto ayudará a implantar una solución de automatización industrial, que permita la supervisión y el control de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), tanto local como remotamente para de esta manera contribuir al mejoramiento de las operaciones del Terminal. Esta propuesta incluye la integración de los sistemas remotos con el SCADA S/3 ubicado en tierra en la Sala de Control.

Este sistema de telemetría permitirá monitorear desde el SCADA (Sala de control) y en sitio (Monoboya): el estado de las válvulas del PLEM (Pipe Line End Manifold), sistemas de energía, sistema hidráulico, presencia de intrusos, fallas en la comunicación interna dentro de la Monoboya, y entre la misma y la Sala de Control. Así como también emitirá señales de alarma cuando sea necesario y se amerite.

En función a lo antes mencionado, el nuevo sistema propuesto usará una plataforma de comunicación basada en un enlace de radio a 900 MHz, que permita la transferencia de data entre los sistemas de supervisión y control, en una estructura que

contempla la instalación de una RTU en la cubierta (UR1) y otra en la torreta (UR2) de la Monoboya. En general, se deberán instalar equipos nuevos en la Monoboya para integrarlos al sistema de control y supervisión existente en la sala de control del Terminal Oriente Jose.

Para esta propuesta de mejora se tomaron en cuenta las normas (ISA-S5.1, ISA-S5.2 e ISA-S5.3) así como, las recomendaciones de los fabricantes de los equipos a instalar. El criterio seguido fue regirse por las normas más exigentes desde el punto de vista de confiabilidad del servicio y la seguridad del personal.

4.5.4.1.1 Integración del sistema de telemetría con el sistema hidráulico

Como se mencionó anteriormente, con el sistema de telemetría propuesto se podrá controlar de manera local y remota las actividades llevadas a cabo en la Monoboya. Este sistema permitirá monitorear las señales de alarmas y los estados vinculados al funcionamiento del sistema hidráulico. Cuando se va a realizar una operación de carga, los técnicos u operadores pueden dirigir la maniobra desde la Monoboya (local) o desde Sala de control (remota).

Si se va a dirigir la operación desde la Monoboya el técnico debe activar la RTU de la torreta para recibir las señales provenientes de los interruptores de presión a través de los cuales se activan los actuadores del PLEM y se establecen los estados abiertos y/o cerrados de las válvulas submarinas, en caso de dar un error en la RTU el sistema de telemetría debe emitir una señal de alarma para que el técnico encargado de la maniobra presurice manualmente el sistema a una presión entre 1450 psi y 1500 psi y selecciona la válvula submarina que va a operar.

Operando desde el SCADA el técnico establece el enlace entre la Monoboya y la Sala de control, y selecciona en el PLC la válvula submarina que va a operar. En caso de ocurrir una falla, la unidad receptora de la sala de control recibe la señal y manda a cerrar las válvulas.

4.5.4.2 Condiciones Generales

Las condiciones básicas a considerar para el diseño de la integración y para la especificación de los sistemas de control y componentes complementarios requeridos fueron los siguientes:

1. Reconocimiento de la visualización local (Monoboya: cubierta) y remota (sala de control) de las condiciones operativas.
2. Integración de los equipos de control de la Monoboya con el SCADA S/3 instalado en la sala de control.
3. Control local y remoto de las válvulas del PLEM.
4. Supervisión de la puesta en marcha del sistema hidráulico de la Monoboya, específicamente para la generación de la señal de alarma cuando la presión de las bombonas de nitrógeno sea menor de 62 bar (900 psi).
5. Generación de la señal de alarma cuando la presión de los acumuladores de aceite se encuentre por debajo de 58 bar (841,21 psi).
6. Monitoreo de la presión de descarga del fluido hacia los buques de carga atracados en la Monoboya a una frecuencia de muestreo de un minuto.
7. Generación de la señal de alarma cuando el voltaje de los bancos de baterías se encuentre por debajo de 10,5 V DC (tensión de corte).
8. Reconocimiento de intrusos en la Monoboya.

4.5.4.3 Requerimientos eléctricos de diseño y requerimientos ambientales

Los requerimientos eléctricos de diseño necesarios para los equipos y componentes del sistema de telemetría se muestran en la Tabla 4.31. Estos requerimientos al igual que

los requerimientos ambientales mostrados en la Tabla 4.32 fueron los indicados en el manual de operación de la Monoboya para los equipos del sistema de telemetría. Los equipos e instrumentos eléctricos o electrónicos deberán estar diseñados para trabajar bajo las condiciones ambientales mostrados en la Tabla 4.32.

TABLA 4.31. REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS DE DISEÑO

Corriente de Alimentación	Voltaje
Corriente alterna (AC)	Voltaje nominal de 120 V AC, 60Hz o en sus efectos de la propia energía del PLC.
Corriente continua (DC)	Voltaje nominal de 12 V DC \pm 5%.

TABLA 4.32. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.

Condiciones Ambientales	
Clima	Tropical, Húmedo (Marino)
Temperatura	Promedio 26,5 °C y máximo 70 ° C
Humedad relativa	55 % a 95 %
Velocidad del viento	Promedio 5 a 96 km/h
Dirección del viento	Predominante 50° S.O

4.5.4.4 Estructuración de la propuesta

Las propuestas de mejoras para el sistema de telemetría se realizaron de la siguiente manera:

- Selección de las RTUs
- Estudio de enlaces de comunicación
- Integración con el SCADA

4.5.4.4.1 Selección de las RTUs

Los equipos de control en la Monoboya se comunicarán entre ellos a través de un enlace de radio, en una relación maestro-esclavo entre la RTU de la cubierta y la RTU de la torreta, de manera que cada uno soporte una comunicación altamente funcional sobre Modbus. Las RTUs deberán contar con al menos la cantidad de entradas y salidas indicadas en la Tabla 4.33, las cuales en todo caso contemplarán el total de señales a ser manejadas, más un 50 % de la reserva instalada. El voltaje de operación de la RTUs deberá ser 12 VDC flotante (no puesto a tierra).

TABLA 4.33. CANTIDAD DE ENTRADAS Y SALIDAS DE LA RTU

Cantidad de canales I/O mínimo	
Entradas digitales	8
Salidas digitales	8
Entradas analógicas	2
Entradas digitales del tipo contacto seco	
Puertos seriales	2
Visualizador lcd	1
Alimentación	12 V DC

Las RTUs deberán contar como mínimo con las siguientes características funcionales:

- **Modularidad.** Capacidad del sistema para dividirse en sus componentes básicos (módulos de E/S de comunicaciones, CPU, fuente de poder, entre otros), sin afectar el funcionamiento del equipo.
- **Confiablez.** Probabilidad de que un sistema opere sin fallas en un período de tiempo t. Se medirá en función del tiempo medio entre fallas (MTBF) y del tiempo medio entre reparaciones (MTBR).

Las características principales de las RTUs seleccionadas para las unidades remotas RTU (Cubierta) y RTU (Torreta) se muestran en la Tabla 4.34 (Ver Apéndice G. Catálogo 3).

TABLA 4.34. CARACTERÍSTICAS DE LAS RTU SELECCIONADA

UNIDAD REMOTA	RTU (Cubierta) y UR2 (Torreta)
CUBIERTA Y TORRE	Marca: ABB Totalflow
	Serie: XRC Remote Controller
	Modelo: 6790
	Modulo Procesador integrado Z80195 (µControlador)
	Fuente de alimentación 12 V DC, consumo menor a 100 mW (8 mA/h)
	Puerto RS-32/485, 1 de configuración y 2 de comunicación
	5 entradas analógicas 4-20 Ma
	4 entradas digitales contacto seco
	4 salidas digitales, rating 12 V DC, 0,5 A
	Software de configuración y control por Pc
	Pantalla de indicación de estados de variables de 2 líneas x 24 caracteres mínimo.
	Protección contra transitorio, sobre corriente y polaridad inversa.
	Interfaz con módulos TFIO para incrementar el número de entradas, salidas y puertos de comunicación.
	Batería interna de respaldo para largos períodos de retención de datos.
	Módulos de memoria PROM (512 k) y FALSH (512 k), para programa de auto -diagnóstico y escalera.
	Multiprotocolo de comunicación. Protocolo Modbus
Software de configuración y control por PC	

La memoria de las RTUs deberán estar provista de baterías de respaldo de larga duración (litio o similar). El respaldo de esta batería deberá ser de 6 meses como mínimo y deberá incluir medios para permitir la señalización audiovisual de la condición de bajo voltaje de la batería.

4.5.4.4.2 Estudio de enlaces de comunicación

Las especificaciones técnicas de los Radio Modem propuestos para manejar el sistema de telemetría de la Monoboya se muestran en la Tabla 4.35 (Ver Apéndice G.

Catálogo 4). Los equipos de control en la Monoboya se comunicarán entre ellos a través de un enlace de radio con una frecuencia de 900 MHz en una relación maestro-esclavo, los cuales permitirán la transferencia de data entre los sistemas de supervisión y control, tanto en la RTU de la cubierta (UR1) como en la RTU de la torreta (UR2) de la Monoboya, de manera que cada una soporte una comunicación altamente funcional sobre Modbus RTU.

TABLA 4.35. ESPECIFICACIONES DEL RADIO MODEM SRM6000 [29]

Radio Módem SRM6000	
Frecuencia de Operación Licencia de uso libre (900- 928) MHz	
Transmisor	Receptor
Alcance. 24 km con línea vista y distancias mayores como repetidora o antenas de alta ganancia Potencia de Salida. 500 MW máximo (10 opciones programable hasta los 500 MW) (+ 27 dBm) Modulación. Espectro extendido, GFSK Código Spreading. Frecuencia Hopping Patrones Hop.15 (seleccionable por el usuario) Ancho de Banda ocupado. 230 kHz	Sensibilidad. -107 dBm @ 10^{-4} raw BER -105 dBm @ 10^{-6} raw BER Selectividad 40 dB @ $f_c + -230$ kHz 60 dB @ $f_c + -460$ kHz Ganancia del sistema. 135 dB

4.5.4.4.3 Integración con el SCADA

Los equipos de control de la Monoboya con el SCADA S/3, están alejados geográficamente a unos 10 km aproximadamente y la comunicación entre éstos, se realizará a través de un enlace de radio en la banda de 900 MHz, bajo protocolo Modbus, esto con el propósito de lograr que el enlace de radio de la RTU de la cubierta tenga un punto de acceso a la plataforma de comunicaciones del SCADA. En la Fig. 4.14 se muestra la integración de los equipos (Radios modem, RTU de la Cubierta y Torreta) ubicados en la Monoboya, Sala de Control y el Scada S/3.

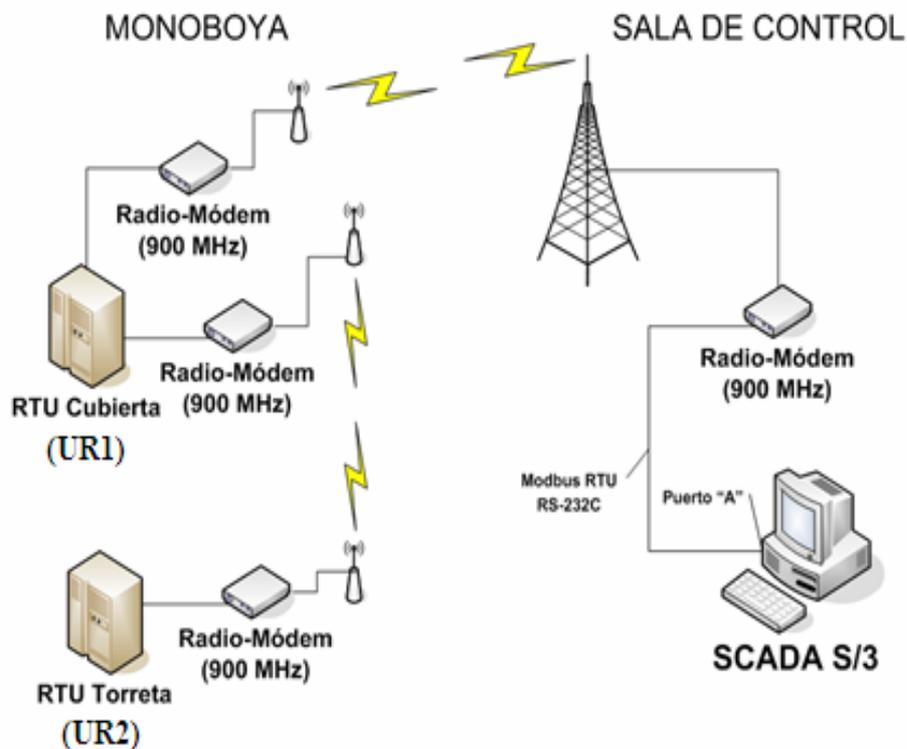


Figura 4.14. Representación de los equipos ubicados en la Monoboya y Sala de control (SCADA S/3)

Con los equipos del sistema de telemetría propuesto se permitirá que las válvulas del PLEM (83-GV-001, 83-GV-002, 83-GV-003), junto con la válvula principal de paso de aceite del sistema hidráulico (SY-004), se operen con las unidades remotas (UR1/2) a través de la plataforma conectada al sistema SCADA S/3 del Terminal Oriente Jose (TOJ). Lo que indica, que este sistema permitirá el accionamiento local desde la UR1 (Cubierta), accionamiento local desde la UR2 (Torreta) y Accionamiento remoto desde el SCADA S/3 (Sala de Control). En las Tablas 4.36, 4.37 y a 4.38 se muestran las señales para accionar las válvulas del PLEM desde la UR1, UR2 y el accionamiento desde el SCADA S/3. En el Apéndice D se muestran los planos donde se identifican las válvulas y otros equipos del sistema de telemetría de la Monoboya del TOJ.

TABLA 4.36. SEÑALES PARA OPERAR DESDE LA UR1 (CUBIERTA)

Señal	Tipo	Descripción
83-ZSH-001B	Pulsador	Apertura de la válvula principal 83-GV-001
83-ZSL-001B	Pulsador	Cierre de la válvula principal 83-GV-001
83-ZSH-002B	Pulsador	Apertura de la válvula V1 83-GV-002
83-ZSL-002B	Pulsador	Cierre de la válvula V1 83-GV-002
83-ZSH-003B	Pulsador	Apertura de la válvula V2 83-GV-003
83-ZSL-003B	Pulsador	Cierre de la válvula V2 83-GV-003

TABLA 4.37. ACCIONAMIENTO LOCAL DESDE LA UR2 (TORRETA)

Señal	Tipo	Descripción
83-ZSH-001A	Pulsador	Apertura de la válvula principal 83-GV-001
83-ZSL-001A	Pulsador	Cierre de la válvula principal 83-GV-001
83-ZSH-002A	Pulsador	Apertura de la válvula V1 83-GV-002
83-ZSL-002A	Pulsador	Cierre de la válvula V1 83-GV-002
83-ZSH-003A	Pulsador	Apertura de la válvula V2 83-GV-003
83-ZSL-003A	Pulsador	Cierre de la válvula V2 83-GV-003

TABLA 4.38. ACCIONAMIENTO REMOTO DESDE EL SCADA S/3 (SALA DE CONTROL)

Señal	Descripción
83-HCH-001A	Apertura de la válvula principal 83-GV-001
83-HCL-001A	Cierre de la válvula principal 83-GV-001
83-HCH-002A	Apertura de la válvula V1 83-GV-002
83-HCL-002A	Cierre de la válvula V1 83-GV-002
83-HCH-003A	Apertura de la válvula V2 83-GV-003
83-HCL-003A	Cierre de la válvula V2 83-GV-003

Con el sistema de control propuesto se puede realizar el monitoreo local y remoto de las válvulas del PLEM y emitir una señal para condicionar la posición abierta y/o cerrada de las válvulas V1 (83-GV-002), V2(83-GV-003) y la válvula principal (83-GV-001). Si al accionar algún pulsador de apertura o cierre mostrado en las Tablas 4.36 y 4.37 el sistema de control debe verificar, transcurrido un tiempo de 10 min, que la acción se ejecutó con éxito, tanto en el sistema SCADA S/3 como en la interfaz local en la UR1, para ello se dispondrán de las siguientes señales a monitorear:

- Estado de las válvulas (ZSH usado para cuando las válvulas están abiertas y ZSL para cuando las válvulas están cerradas), en la Tabla 4.38 se muestran los estados de operación de las válvulas del PLEM.
- Presión de descarga de la Monoboya (PT-003)
- Voltaje de los bancos de baterías (ET-001, ET-002)
- Interruptor de apertura de las puertas (NS-001/NS-002)
- Presión de aceite del sistema hidráulico (PT-002)
- Presión de nitrógeno (N₂) del sistema hidráulico (PT-001)

En la Tabla 4.39 se muestran los estados de operación abierto y/o cerrado para las válvulas del PLEM. Estas válvulas pueden ser operadas de manera local (Desde la Monoboya) o de manera remota (Sala de Control). Los estados que pueden presentar cada una de las válvulas son cuatro: (1) **posición abierta** cuando la válvula se encuentra 100 % abierta, (2) **posición cerrada** cuando se encuentra 0 % abierta (3) **Intermedia** Cuando la válvula tiene una posición especificada que es mayor de 0 % y menor de 100 % abierta y (4) cuando al abrir y/o cerrar se presenta una falla.

TABLA 4.39. ESTADO DE OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS DEL PLEM

Abierta	Cerrada	Local	Remoto	Estado
ZSH	ZSL	L	R	

1	0	1	1	Abierta
0	1	1	1	Cerrada
0	0	1	1	Intermedia
1	1	1	1	Falla Sw

Nota: Las letras ZSH: se utilizan para cuando las válvulas estén abiertas y las letras ZSL para cuando estén cerradas, los números 0 y 1 son usados para indicar cual válvula está abierta y cual está cerrada, cuando se opera desde la unidad local o remota.

Los permisos para emitir los comandos se establecerán bajo los siguientes criterios:

- Mientras dure el ciclo de apertura o cierre de una válvula del PLEM no recibirá ningún otro comando de operación de las válvulas. Todo comando adicional será totalmente ignorado.
- El fin de un ciclo de apertura o cierre de válvula estará definido por el estado del interruptor.
- Todo comando de operación activará la válvula principal de paso de aceite del sistema hidráulico (SY-004).
- El monitoreo de la presión de descarga se activará cuando algunas de las válvula del PLEM se encuentre abierta.

La ventana de comando para operar las válvulas del PLEM desde el sistema SCADA S/3 se muestra en la Fig. 4.15:

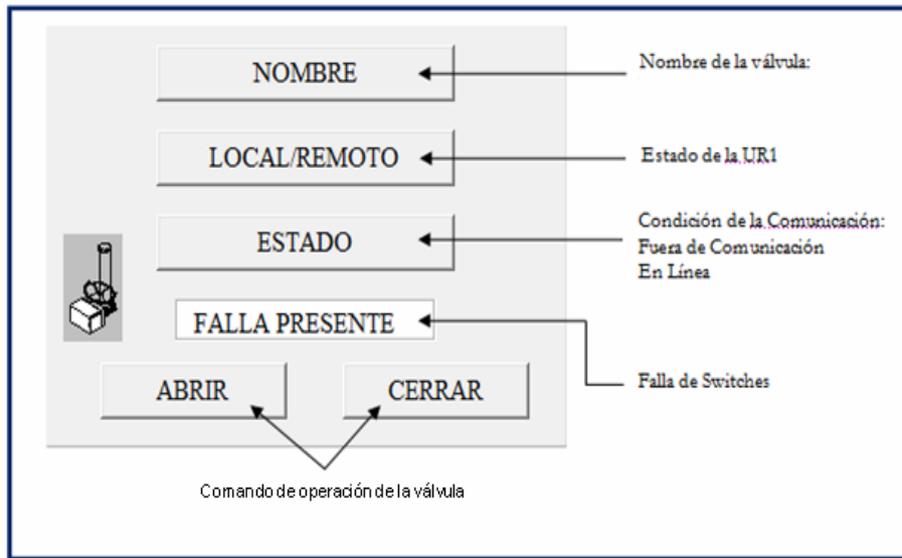


Figura 4.15. Ventana de comando SCADA S/3 de las válvulas del PLEM

4.5.4.5 Condición de Operación Normal

La condición de operación normal del sistema de telemetría instalado en la Monoboya será con los equipos encendidos y con una adecuada comunicación entre el SCADA S/3 y la UR1, y entre la UR1 y la UR2. En cualquier modo de operación (local y remoto) se indicará en todo momento la condición de las válvulas del PLEM (abierta o cerrada) tanto en la interfaz local de la UR1 como en los despliegues del SCADA en la sala de control.

4.5.4.6 Modo de Operación Remoto

En este modo los comandos de operación de la Monoboya son enviados desde la sala de control y son recibidos por la remota de la cubierta (UR1), las cuales los retransmitirán a la remota de la torreta (UR2) para su efectiva ejecución.

4.5.4.7 Modo de operación local

Para operar en modo local, se deshabilitarán los comandos remotos y cada comando emitido generará una señal de aviso en el SCADA en la Sala de Control. En caso de

mantenimiento o cuando se interrumpa la comunicación entre la UR1 y el SCADA en la sala de control, se ejecutarán los comando de apertura o cierre de las válvulas del PLEM desde los pulsadores de la UR1 y UR2 (Ver Tablas 4.35 y 4.36).

4.5.4.8 Condición de apagado

La selección de este modo de operación se realizará en el tablero de cada remota a través del selector o del interruptor de alimentación. Se generarán alarmas y reportes periódicos de estado en caso de no haber un restablecimiento de la condición normal de operación después de un tiempo preestablecido.

4.5.4.9 Condiciones de Alarma

El sistema generará alarmas cuando suceda alguna de las siguientes condiciones:

- Cuando la presión del aceite o del nitrógeno estén por debajo de los niveles de operación 58 bar (841,21 psi) para el aceite y 62 bar (900 psi) para el nitrógeno. Esta señal de alarma será indicada tanto en la sala de control como en la interfaz local ubicada en la UR1 y no limitará las operaciones en la Monoboya.
- Cuando se emita un comando de operación de las válvulas del PLEM y transcurran 10 min sin que se complete el ciclo. Esta señal de alarma será indicada tanto en la sala de control como en la interfaz local de la UR1.
- Cuando ocurra cualquier pérdida de comunicación entre las remotas o con la sala de control. Esta señal de alarma será indicada tanto en la sala de control como en la interfaz local de la UR1 y en los indicadores visuales de cada UR (Pérdida de comunicación o falla).
- Cuando el voltaje de las baterías de la cubierta o de la torreta baje de 10,5 V. Esta señal de alarma será indicada tanto en la sala de control como en la interfaz local de la UR1 en la cubierta y en los indicadores visuales de cada UR (Pérdida de comunicación o falla).

4.5.4.10 Seguridad (Parada de emergencia)

Si durante cualquiera de los procesos mencionados anteriormente (Condición de operación normal, Modo de operación local, Condición de apagado y condiciones de alarma) ocurriese una emergencia, la lógica de control residente en el SCADA procederá a generar un procedimiento de cerrado de las válvulas del PLEM.

Las acciones de emergencia se generarán al producirse alguno de los siguientes eventos:

- Detección de incendio en la Monoboya.
- Ruptura de las mangueras submarinas o flotantes.
- Situación de emergencia detectada en el Terminal Oriente Jose.

4.5.4.11 Panel de supervisión de servicios y estados de operación de la Monoboya

Para realizar la supervisión y control de los estados de operación (En línea o Fuera de línea) de la Monoboya, así como también los estados de enlace (Con señal o sin señal) se propone el panel mostrado en la Fig. 4.16, el cual estará instalado en la torreta, específicamente encima del panel controlador de válvulas, se dispone de este sitio debido a que se encontraba inicialmente en ese lugar el panel encargado de la supervisión de los servicios y estados de operación de la Monoboya. Es importante resaltar que para la selección de cada uno de los componentes, equipos y así como para el sistema de telemetría propuesto prevalecieron las condiciones ambientales.

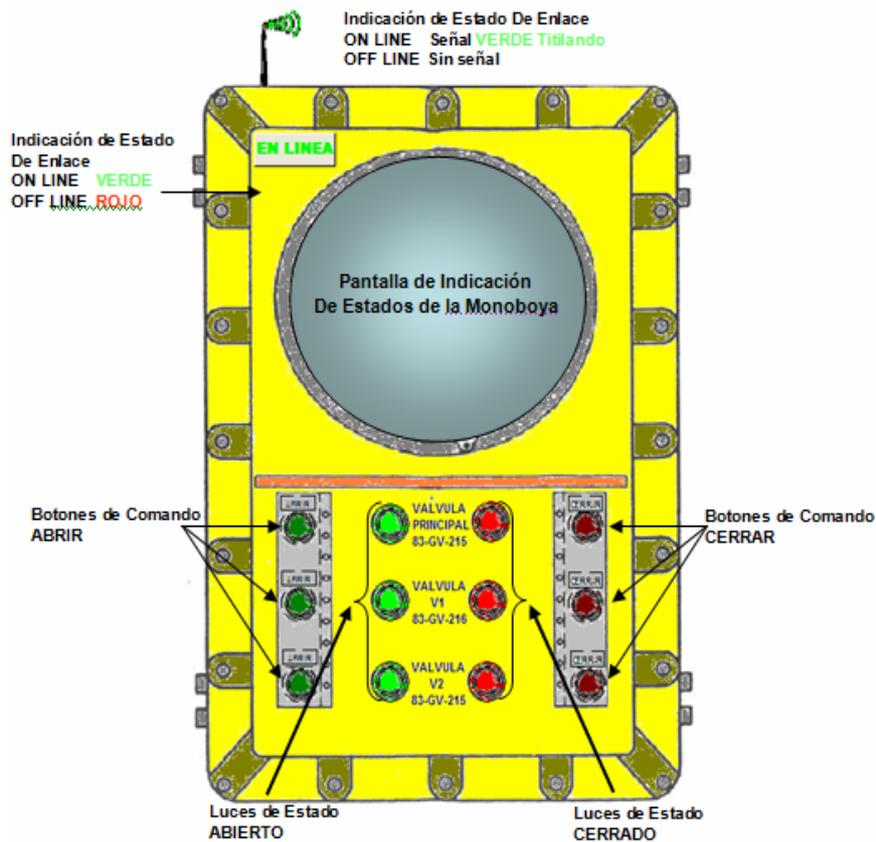
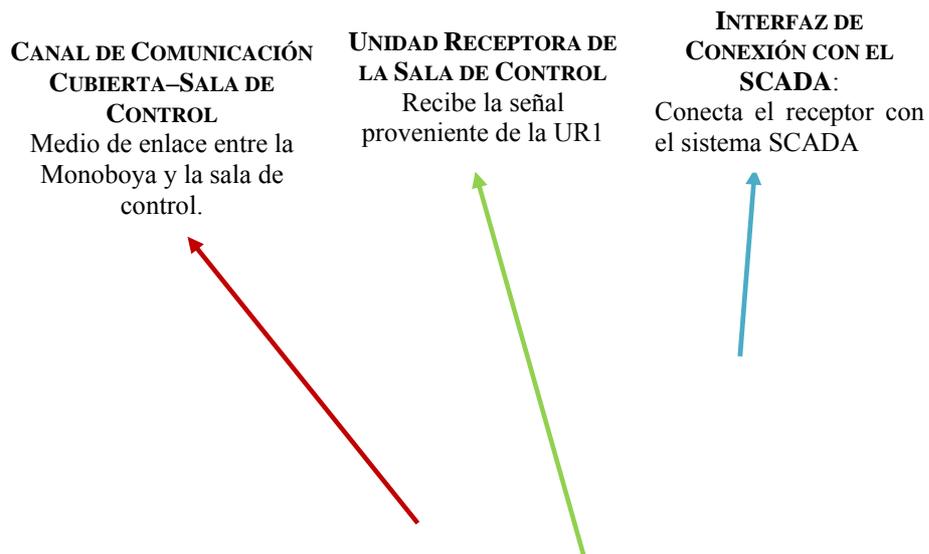
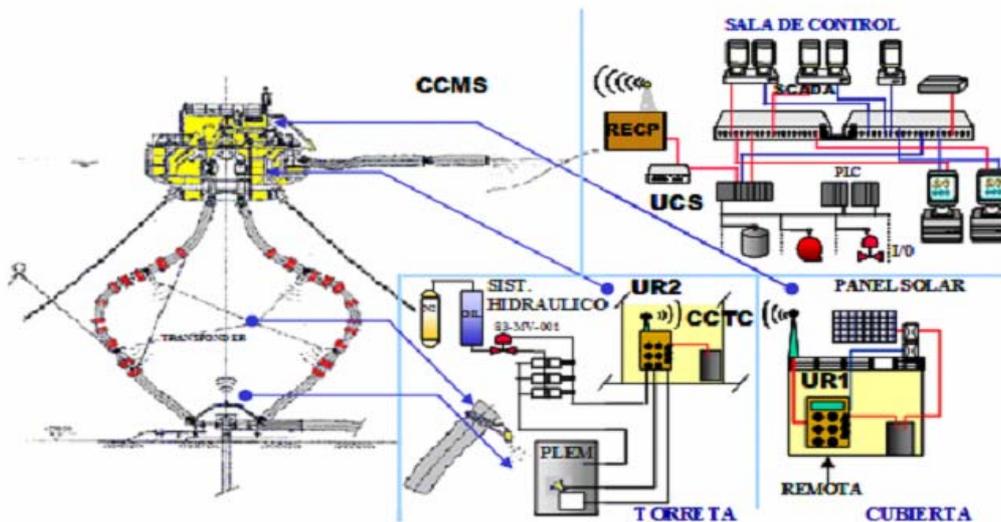


Figura 4.16. Panel para la supervisión de servicios y estados de operación de la Monoboya

4.5.4.12 Esquema de telemetría propuesto para la Monoboya





LEYENDA

- UR1** Unidad remota de la cubierta
- UR2** Unidad remota de la torre
- CCTC** Canal de comunicación torre-cubierta
- CCMS** Canal de comunicación Monoboya-Sala de control
- RECP** Unidad receptora en tierra
- UCS** Unidad de conexión con el SCADA

Figura 4.17. Sistema de Telemetría Propuesto

4.6 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LOS EQUIPOS DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE

Entre las estrategias de mantenimiento para mejorar el desempeño de los equipos de la Monoboya del Terminal Oriente Jose se pueden establecer las siguientes:

1. Adiestrar al personal y orientarlo hacia la búsqueda de la confiabilidad operacional. Esto permitirá que el personal de mantenimiento del TOJ tenga un mejor conocimiento de las últimas técnicas que se aplican para mejorar la confiabilidad de los equipos y crear en el mismo una motivación hacia el logro de mejoras en el rendimiento de los equipos que en la Monoboya mantienen.
2. Esta estrategia requerirá crear un departamento en mantenimiento predictivo específicamente para los equipos de la Monoboya (sistema hidráulico, sistema de telemetría, paneles solares, entre otros), el cual lleve un control exhaustivo de las fallas que ocurren (registro estadístico de fallas) y un monitoreo de las actividades predictivas que se realizan, además de llevar a cabo una evaluación de la información obtenida acerca del funcionamiento de los equipos, para revisar el resultado obtenido de las técnicas de mantenimiento aplicadas a los equipos.
3. Fomentar la creación de los históricos de falla de los equipos de la Monoboya, con el propósito de estudiar el comportamiento de los equipos y con esto obtener la información necesaria para su correcto uso y evaluación.
4. Crear un plan de mantenimiento dinámico, que permita su variación en el tiempo según los resultados que se obtengan (gestión de mantenimiento). Con la creación de un plan dinámico, se estaría en una constante evaluación del plan de mantenimiento, lo que permitirá detectar de manera más rápida y efectiva cualquier anomalía en el mismo.
5. Planificar cada tres meses un mantenimiento preventivo, con el fin de definir técnicas de diagnóstico y formas de aplicación de ellas. En este sentido, es de suma necesidad señalar que las técnicas a implementar deben ser aplicadas para cada equipo y componente de la Monoboya en particular, ya que las características propias de cada uno de ellos determinarán la mejor forma en las que pueden ser analizados.

6. Fomentar la presentación de proyectos y propuestas para lograr minimizar la dependencia de servicios externos. Con esta estrategia se busca que algunas actividades de mantenimiento que dependen de contratistas externas (por ejemplo, el mantenimiento de las válvulas del PLEM) sea realizado por personal propio del TOJ y con esto lograr que el departamento de mantenimiento de este sea autosuficiente.
7. Adecuar las frecuencias de mantenimiento predictivo según lo indique la evolución de la condición del equipo. Con esta estrategia se busca modificar las frecuencias y evitar que muchas de las fallas de los equipos de la Monoboya ocurran en períodos de tiempo a la actividad de mantenimiento planificada.
8. Mejorar la interconexión entre el mantenimiento y las operaciones que se llevan a cabo en la Monoboya, con el propósito de establecer un plan de mantenimiento operacional.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Toda crítica, aún la malévola

Es digna de agradecimiento

S. MAUGHAM.

En este capítulo se establecerán de manera puntual las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de haber realizado el estudio del sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose.

5.1 CONCLUSIONES

1. Para la realización de la apertura y cierre de las válvulas del PLEM es necesario que la presión en las bombonas de Nitrógeno se encuentre entre 1450 psi y 1500 psi (100 bar - 103,422 bar). La presión mínima en el panel debe ser de 1458,3 psi (100,547 bar) y el caudal de aceite a manejar en el sistema de 18 m³/h.
2. El estudio hidráulico realizado al sistema hidráulico de la Monoboya del TOJ para las condiciones actuales, mostró que la presión en el panel (823,8 psi) está por debajo de la presión de diseño (1458,3 psi), por lo que la presión actual no garantiza la apertura y cierre de las válvulas del PLEM.
3. Con el uso del aceite Shell tellus oil 22 se consiguió aumentar la presión en el panel hasta 1461,2 psi (100,75 bar), (14 psi por encima de la presión de diseño), siempre que las bombonas del sistema de nitrógeno estén presurizadas en 1475 psig.
4. La bomba hidráulica seleccionada para el tanque de retorno de aceite, fue del tipo centrífuga, Marca SIHI, Modelo CWHC 400090- N = 5900 rpm.

5. Tanto la selección de las RTUs como las unidades de radio-módem fueron técnicamente estudiadas, basadas en la compatibilidad entre cada uno de los equipos a ubicar en la Monoboya; así como, con el controlador de operaciones en tierra.
6. El sistema de telemetría propuesto deberá estar asociado a los controladores de proceso ubicados en la Torreta y Cubierta de la Monoboya, los cuales reportarán al sistema SCADA ubicado en la sala de control del Terminal Oriente Jose.
7. Se plantearon ocho estrategias de mantenimiento orientadas a mejorar el desempeño de los equipos que integran el sistema hidráulico de la Monoboya, entre las cuales se tiene como una de las de mayor impacto la estrategia de: Crear un departamento en mantenimiento predictivo específicamente para los equipos de la Monoboya (sistema hidráulico, sistema de telemetría, paneles solares, entre otros), el cual lleve un control exhaustivo de las fallas que ocurren (registro estadístico de fallas) y un monitoreo de las actividades predictivas que se realizan.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Presurizar las bombonas de nitrógeno del sistema hidráulico hasta una presión de 1475 psi ó 1500 psi (101,69 bar – 103,42 bar).
2. Realizar pruebas periódicas del funcionamiento del sistema hidráulico, para garantizar de esta manera la operación del mismo ante una situación de emergencia.
3. Proteger las tuberías que conforman el sistema hidráulico contra los efectos de la corrosión, para de esta forma garantizar su perdurabilidad en el tiempo contra los efectos del ambiente marino.

4. Colocar sistemas medidores de caudal en los acumuladores, panel y tanque de almacenamiento de aceite, para determinar la existencia de grandes o pequeños consumos de aceite con la finalidad de corregir los problemas y que estos no impacten de manera significativa en el funcionamiento del sistema hidráulico. Además de la calibración de los manómetros ubicados en las bombonas de N₂ y en los acumuladores.

5. Sustituir el umbilical existente por una manguera de alta presión tipo metal corrugado 4038404XM de 3" diámetro interno de la empresa USHOSE Corporation, para poder mantener la presión mínima de 1450 psi (100 bar) (Ver Apéndice G. Catálogo 5).

BIBLIOGRAFÍA

1. Avallone, F. y Baumeister, K. **Manual del Ingeniero Mecánico** Editorial Mc Graw Hill (1995).
2. Cortina, D. **Manual de Oleohidráulica** Editorial Creaciones Copyright. Primera Edición (1996).
3. Crane. **Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tubería**, Editorial McGrawHill, México (1998).
4. Ecopetrol. Proyecto titulado **Las Monoboyas**. Colombia (2005).
5. Gil, J. **Elementos Hidráulicos en los tractores y Maquinas Hidráulicas** Editorial Mundi-prensa, segunda edición (1998).
6. Luna, V. **Ingeniería conceptual y básica de un sistema automatizado para la supervisión y control de las operaciones del sistema de amarre de un solo punto (Monoboya) del Terminal Oriente Jose (TOJ) de PDVSA Refinación**. Trabajo de Grado Universidad Nacional Abierta (2008).
7. Massey, B. **Mechanics of Fluids**. Séptima edición (1968).
8. Mataix. C. **Mecánica de los Fluidos y Maquinas Hidráulicas** Editorial Harla, S.A México D.F. México. (1982).
9. Medios didácticos INACAP **Manual de Hidráulica y Neumática** (2001).
10. Norma ISA-S5.1 **Instrumentación de medición y control**. (1984).

11. Norma ISA-S5.2 **Símbolos de operaciones binarias de procesos. (1973).**
12. Norma ISA-S5.3 **Símbolos de sistemas de microprocesadores con control compartido (1982).**
13. Norma PDVSA L-TP 1.5 **Cálculo hidráulico de tuberías. (1994)**
14. Potter, M. **Mecánica de Fluidos.** Editorial Prentice Hall. México. **(1990).**
15. Redacción de la compañía Petrotecnia. **Reporte Técnico,** Argentina **(2004).**
16. Shames, I. **Mecánica de Fluidos,** Editorial McGrawHill, México **(1995).**
17. Sperry, V. y Vickers, E. **Manual de Oleohidráulica Industrial.** Editorial Blume, Colombia **(1979).**
18. Zandim, M. **Manual del Ingeniero Industrial.** Editorial Mc Graw Hill. Quinta edición. México **(2002)**
19. Bluewater, Terminal Systems. **Manual de Operaciones y Mantenimiento.** Inglaterra **(1993)**
20. Bluewater. Terminal de Embarque Jose. **Vendor Data Book Part 2. Single Point Mooring System P.O.N° 252290/CEH1703 (1993).**
21. Bluewater. Terminal de Embarque Jose. **Vendor Data Book Part 3. Single Point Mooring System P.O.N° 252290/CEH1703 (1993).**
22. Bluewater. Terminal de Embarque Jose. **Vendor Data Book Part 4. Single Point Mooring System P.O.N° 252290/CEH1703 (1993).**

23. Fortunecity **Sistemas hidráulicos.** Disponible en la página web:<http://members.fortunecity.es/100pies/mantenimiento/mantenimientohidraulico> (2003).
24. González, H. **Tipos y Funciones de las Obras de Atraque y Amarre** (2006).
25. Roldan, J. **Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada.** Primera Edición. España (1999).
26. McNaughton, K. **Bombas** Primera Edición, Editorial Mc Graw-Hill. México (1990).
27. Tyler, G. **Bombas su selección y Aplicación.** Primera Edición, Editorial Mc Graw-Hill Book y Company, Inc. New York. (1978).
28. Castro, C y Romero, C. **Introducción al SCADA.** Disponible en la página web:<http://www.uco.es/grupo/eaco/automatica/im/descargar/scada.pdf> (2006).
29. Caravallo, J. y Vargas, R **Válvulas solenoides.** Disponible en la página web: <http://www.docg.google.com/viewer?a=v&q=cache:ilhdiNfF5Tgj:profesores.elo.utfsm.cljgb/CARVALLOVARGASc.pdf> (2000).
30. Catálogo de RTU. **Disponible en página web:** <http://www.abb.com/totalflow> (2008).
31. **WIRELESS DATA-LINC GROUP** Catálogo radio módem de la serie. **Disponible pagina web:** <http://www.Data-linc.Com/srmfamily/srm6100.Htm> (2008).

32. Escamilla, R. Investigación, Análisis y Desarrollo de un Manual para el diseño de un sistema oleodinámico. Disponible página web:http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080111896/1080111896_01.pdf. (2000).

APÉNDICE A. EJEMPLOS DE CÁLCULOS

A.1 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DE LA ALTURA DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN EN LA DESCARGA CARGA

La Fig. A.1 presenta el arreglo sugerido para la tubería de succión de la bomba propuesta.

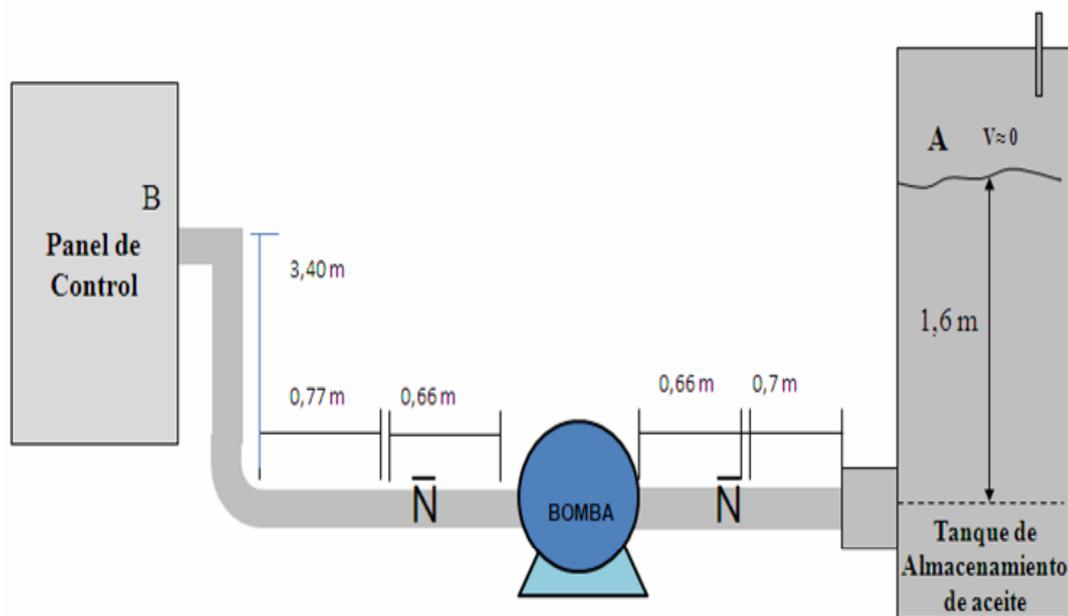


Figura A.1. Arreglo de la bomba propuesta

Aplicando Teorema de Bernoulli entre los puntos A y B de la figura se tiene:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A}{2g} + Z_A + H_{B-Sist} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B}{2g} + Z_B + h_{AB}$$

(A.1.1)

Donde:

- P = Presión
- V = Velocidad
- Z = Altura
- H_{B-Sist} = Altura de Carga

h_{AB} = Pérdidas entre (A y B)

ρ = Densidad

g = Gravedad

Despejando H_{B-Sist} y colocándolo en función de la presión de descarga P_B y el caudal Q se tiene:

$$H_{B-Sist} = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{V_B - V_A}{2g} + Z_B - Z_A + h_{AB}$$

$$H_{B-Sist} = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2 - V_A}{2g} + Z_B - Z_A + f \frac{L + Le}{2Dg} \left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2 \quad (A.1.2)$$

Sustituyendo valores en sistema de unidades SI en la Ec A.2, se obtiene finalmente:

$$H_{B-Sist} = \frac{P_B - 0}{8468,19} + \frac{\left(\frac{4Q}{\pi 0,01885^2}\right)^2 - 0}{19,62} + 0 - 1,6 + f \frac{6,19 + 2,79}{0,369} \left(\frac{4Q}{\pi 0,01885^2}\right)^2$$

$$H_{B-Sist} = \frac{P_B}{8468,19} - 1,6 + (654449,01 + 125462371,7f)Q^2$$

 (A.1.3)

Donde H_{B-Sist} está en m, P_B en Pa; Q en m^3/s y f es el factor de fricción (adimensional).

Con el caudal de $18 m^3/h$ se determina la velocidad

$$Q = V.A$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{A.1.4})$$

$$V = \frac{0,005 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,01885 \text{ m})^2}{4}}$$

$$V = 17,92 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{0,01885 \text{ m} \cdot 17,92 \text{ m/s} \cdot 863,22 \text{ kg/m}^3}{0,028 \text{ kg / m.s}} \quad \text{A.1.5)}$$

$$\text{Re} = 10411,95$$

Con el Numero de Reynolds 10411,95 y la rugosidad relativa $\epsilon/d = 0,00263$ se buscó en el diagrama de Moody f , la cual resultó 0,028.

A.2 CÁLCULO NPSH DISPONIBLE Y COMPARACIÓN CON EL NPSH REQUERIDO POR LA BOMBA SELECCIONADA

Para el cálculo del NPSH_D se ha empleado la siguiente expresión:

$$\text{NPSH}_D = \frac{P_A - P_S}{\rho g} - (Z_B + Z_A) - h_{AB}$$

$$\text{NPSH}_D = \frac{P_A - P_S}{\rho g} - (Z_B + Z_A) - f \frac{L + Le}{2Dg} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \quad (\text{A.2.1})$$

La menor disponibilidad de NPSH corresponde al mayor caudal de funcionamiento registrado. El mayor caudal de funcionamiento corresponde a Evaluando (en sistema de unidades MKS) la ecuación (A.2.1) para este caudal se tiene:

$$NPSH_D = \frac{P_A - P_S}{\rho g} - (Z_B + Z_A) - f \frac{L + Le}{2Dg} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \quad (A.2.2)$$

$$NPSH_{\text{Calculado}} = \frac{101325 - 0,5}{8468,19} + 1,6 - 0,029 \cdot \frac{1,36 + 2,75}{0,9025} \left(\frac{4 \cdot 0,005 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi \cdot (0,051)^2} \right)$$

$$NPSH_{\text{Calculado}} = 13,24 \text{ m}$$

$$NPSH_R = 2,33 \text{ m}$$

$NPSH_D > NPSH_R$ Lo que significa que la bomba no cavita.

A.3 cálculo de la velocidad crítica para el gas nitrógeno

$$V_s = 223 \sqrt{\gamma \cdot \frac{T}{M}} = 68,1 \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}} \quad (A.2.3)$$

- M = Peso Molecular del fluido
- T = Temperatura del fluido °R
- γ = (Cp/Cv) relación de calores específicos 1,0 y 1,8
- ρ = Densidad del fluido lb/pies³
- P = Presión del fluido psia
- v = Velocidad

$$V_s = 68,1 \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}} \quad (A.2.4)$$

Donde:

$$\begin{aligned}\rho &= 92,93 \text{ kg/m}^3 \\ P &= 1464,7 \text{ psia} \\ \gamma &= 1,398\end{aligned}$$

$$V_s = 68,1 \sqrt{1,398 \cdot \frac{1464,7 \text{ psia}}{92,93 \text{ kg/m}^3}}$$

$$V_s = 1279,56 \text{ pie/s}$$

$$V_s = 390,1 \text{ m/s}$$

APÉNDICE B. ANEXOS



Figura B.1. Monoboya del Terminal Oriente Jose



Figura B.2. Acumuladores de aceite y Bombonas de Nitrógeno



Figura B.3. Conexión entre las bombonas de nitrógeno actuales y los acumuladores de aceite



Figura B.4. Tubería superior es conectada a los acumuladores.



Figura B.5. Tuberías inferiores conectadas a los acumuladores simulados.



Figura B.6. Bombonas de Nitrogeno pertenecientes al sistema hidráulico de la Monoboya del Terminal Oriente Jose.

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

TÍTULO	PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA HIDRÁULICO QUE OPERA EL MÚLTIPLE DE VÁLVULAS SUBMARINAS DE LA MONOBOYA DEL TERMINAL ORIENTE JOSE (TOJ).
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Machado García, Roselis María	CVLAC: 16.682.796 E-MAIL: roselism13@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

MONOBOYA

PLEM

UMBILICAL

SISTEMA HIDRÁULICO

VÁLVULAS SUBMARINAS

SISTEMA DE TELEMETRÍA

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

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se realizaron algunas propuestas de mejoras al sistema hidráulico que opera las válvulas submarinas del PLEM de la Monoboya del Terminal Oriente Jose (TOJ), con el propósito de lograr un mejor funcionamiento del mismo al momento de realizar la apertura y cierre de las válvulas del PLEM (Pipe Line End Manifold). El estudio se basó en seleccionar las mejores alternativas dentro de las cuales se plantearon: Evaluación del sistema hidráulico usando otro aceite, instalación de una bomba hidráulica conectada al tanque de retorno y mejoramiento del Sistema de telemetría. Entre las conclusiones más importantes se obtuvieron: con el uso de los planos isométricos obtenidos de la información levantada en campo se facilitó el estudio hidráulico de las condiciones actuales. Con el uso del aceite Shell Tellus oil 22 se mejoran las presiones de trabajo del sistema hidráulico garantizando una presión de 100,23 bar (1453,7 psi) para el funcionamiento del mismo. Con la instalación de una bomba hidráulica con capacidad de flujo 35,2 m³/h y una altura de operación de 1268,2 m se puede mejorar la capacidad de bombeo en el sistema hidráulico del TOJ. El sistema de telemetría propuesto deberá estar asociado a los controladores de proceso ubicados en la Torre y Cubierta de la Monoboya, los cuales reportarán al sistema SCADA ubicado en la sala de control del Terminal Oriente Jose.

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

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMRES	ROL/CÓDIGO CVLAC/ E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Ing. Johnny Martínez	CVLAC:	8.340.871			
	E_MAIL	johnnymartinr@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Ing. Ramón Castillo	CVLAC:	8.457.759			
	E_MAIL	castillory@pdvsa.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Ing. José Eduardo Rengel	CVLAC:	9.276.475			
	E_MAIL	rengel66@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Ing. Carlos Da Silva	CVLAC:	15.279.489			
	E_MAIL	dasilva.leal@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO	MES	DIA
2010	07	22

LENGUAJE: SPA

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

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Propuestas de mejoras.doc	Application / msword

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

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre - Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

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

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

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

Roselis M Machado García.

C.I.: 16.682.796

AUTOR

Ing. Johnny Martínez

C.I.: 8.340.871

TUTOR

Ing. José Eduardo Rengel.

C.I.: 9.276.475

JURADO

Ing. Carlos Da Silva

C.I.: 15.279.489

JURADO

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS