



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

SELECCIÓN DE BRAZOS DE CARGA PARA DESEMBARCO DE CRUDO EN ESTACIÓN 1 DEL OLEODUCTO NOR PERUANO

Anthony Bazán-Rivera

Piura, marzo de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Bazán, A. (2017). *Selección de brazos de carga para desembarco de crudo en Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**“Selección de brazos de carga para desembarco de crudo en Estación 1 del
Oleoducto Nor Peruano”**

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico – Eléctrico**

Anthony Emanuel Bazán Rivera

Asesor: Jorge Javier Machacuay Arévalo

Piura, Marzo del 2017

A Dios, a mis padres, hermanos y demás
seres queridos por su constante apoyo,
paciencia, consejos y motivación.

Prólogo

Este proyecto de tesis se origina debido a la necesidad que tiene la compañía Petróleos del Perú, de someter a un proceso de modernización al Oleoducto Nor Peruano (ONP), incluyendo sus estaciones. La idea de este trabajo es mejorar el proceso de descarga de crudo que se ha estado llevando a cabo desde hace varios años, implementando un sistema sofisticado y que aumente la eficacia de los trabajos.

El ONP comienza su principal función, el transporte, a partir de la Estación 1. Es así que las empresas petroleras llevan el crudo que ha sido extraído, hasta la zona de pontones de esta estación, a través de barcazas, donde se realiza la descarga desde el manifold de éstas, hasta una brida de succión del pontón.

Actualmente la descarga se realiza a través de una manguera, la cual es conectada con ayuda de un polipasto (ya que es muy pesada) y de los trabajadores que se encuentran *in situ*, de modo que para realizar esta conexión se toma un tiempo considerado, ya que es un trabajo manual y a la vez que debe hacerse de la forma más segura para evitar cualquier accidente.

Es por ello que la implementación de brazos de carga es necesaria, ya que este trabajo se convertiría en una operación práctica, rápida, segura y que conlleva a un ahorro económico para la empresa, ya que se trata de un sistema moderno y que puede ser manejado de manera manual o remota por el operador sin arriesgar su integridad física. De esta manera se selecciona la mejor opción para las condiciones propuestas por Petroperú, de modo que este proyecto se lleve a cabo.

Al seleccionar e implementar brazos de carga, se podrían reducir los tiempos de descarga, debido a un aumento del caudal de bombeo. Por lo que se comprueba por una simulación hidráulica, que el crudo llegará a la zona de tanques de almacenamiento con la tubería y equipos existentes o si se necesita el cambio de estos.

Termino este pequeño apartado, agradeciendo a Dios porque sin Él nada se podría llevar a cabo, a mis padres Carlos y María, y a mis hermanos por ser mi más grande ejemplo y motivación, a mis supervisores del área de Jefatura Ingeniería, a mis grandes amigos que hasta el día de hoy me apoyan en mis éxitos y en mis caídas. Un agradecimiento muy especial al Ing. Jorge Machacuay Arévalo por brindarme su apoyo, tiempo, ideas y opiniones constructivas para realizar mi proyecto de tesis.

Resumen

El presente proyecto de tesis, tiene como objetivo la selección de brazos de carga marinos para la descarga de diferentes tipos de crudo, desde las barcas hasta la zona de pontones en la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú S.A., con el fin de que se deje de realizar este proceso mediante la conexión de mangueras, disminuyendo el tiempo de conexión y personal operativo, y aumentando la seguridad de los trabajadores y del medio ambiente. Es por ello, que se realizó el dimensionamiento de estos brazos de carga, de modo que se puedan conectar a las distintas embarcaciones sin ningún inconveniente. Una vez establecidos los parámetros operativos, se evaluaron dos alternativas de estos sistemas, propuestas por las empresas Kanon Loading Equipment y Aplisac. El resultado de esta evaluación concluyó en que el sistema más adecuado es un “*Marine Loading Arm, Type MLA260 Special Design Size 8 Pulg.*”, de la empresa Kanon Loading Equipment, siendo mejor a nivel de estructura y a la vez siendo más económico. Una vez seleccionado el brazo de carga marino, se realizó un cálculo hidráulico que comprobó que el crudo sería descargado sin problemas desde las barcas hasta la zona de tanques de almacenamiento. Sin embargo, este proceso de descarga puede durar aproximadamente 20 horas, por lo que se recomienda un cambio de equipos de bombeo (motobombas) para reducir el tiempo a la mitad y por tanto conseguir un ahorro económico mayor, lo cual beneficiaría a la empresa petrolera.

Índice

Introducción

Capítulo 1 Transporte de crudo en el Oleoducto Nor Peruano	1
1.1 Petróleos del Peru S.A.....	1
1.2 Operaciones Oleoducto	3
1.2.1 Reseña histórica.....	4
1.2.2 Datos del crudo transportado.....	6
1.2.3 Descripción de las instalaciones.....	7
1.2.4 Criterios de diseño del Oleoducto Nor Peruano	9
1.2.4.1 Caudal de diseño	9
1.2.4.2 Características del petróleo crudo	9
1.2.4.3 Presión de diseño.....	10
1.2.4.4 Pérdidas de carga en el ONP	10
1.2.5 Situación actual del ONP	11
Capítulo 2 Sistema de carga y descarga de hidrocarburos	15
2.1. Introducción	15
2.2. Fundamentos teóricos.....	16
2.2.1. Propiedades de un fluido	16
2.2.1.1. Densidad.....	16
2.2.1.2. Peso específico (γ)	16
2.2.1.3. Gravedad específica (SG).....	16
2.2.1.4. Gravedad API.....	17
2.2.1.5. Viscosidad absoluta (μ) y cinemática (ν).....	17
2.2.2. Hidrodinámica.....	18
2.2.2.1. Caudal.....	18
2.2.2.2. Ecuación de la continuidad.....	18
2.2.2.3. Principio de Bernoulli	18
2.3. Sistema de carga y descarga de hidrocarburos.....	19
2.3.1. Embarcaciones petroleras.....	19
2.3.1.1. Cubierta de carga.....	20
2.3.1.2. Tanques de carga.....	21
2.3.2. Equipos y procesos de carga/descarga de crudo.....	24
2.3.2.1. Proceso de carga/descarga mediante manguera	24
2.3.2.2. Proceso de carga/descarga mediante brazos de carga	25

2.4.	Sistema de bombeo.....	29
2.4.1.	Bombas.....	30
2.4.1.1.	Bombas centrífugas.....	30
2.4.1.2.	Bombas rotatorias: tipo tornillo.....	32
2.4.1.3.	Curva de operación de bombas	33
2.4.2.	Curva característica de la instalación	35
2.4.3.	Punto de funcionamiento.....	36
2.4.4.	Principales problemas en bombas	37
2.4.4.1.	Cavitación.....	37
2.4.4.2.	Golpe de ariete	38
Capítulo 3	Alternativas y selección de brazos de carga	39
3.1.	Introducción	39
3.2.	Equipos de bombeo y embarcaciones actuales.....	40
3.2.1.	Datos de los pontones.....	40
3.2.1.1.	Pontón N°2	41
3.2.1.2.	Pontón N°3	42
3.2.1.3.	Pontón N°4	42
3.2.2.	Datos de los equipos de bombeo	43
3.2.3.	Zona de manifold de válvulas motorizadas para tanques de crudo	44
3.2.4.	Embarcaciones y tipos de crudo	45
3.3.	Recepción de crudo	46
3.3.1.	Recepción de crudo Piraña.....	46
3.3.2.	Recepción de crudo Residual Iquitos	50
3.3.3.	Recepción de crudo Los Ángeles	51
3.3.4.	Recepción de crudo Yanayacu	52
3.4.	Dimensionamiento del brazo de carga	52
3.5.	Alternativas y cotizaciones.....	57
3.5.1.	Alternativa 1: Kanon Loading Equipment	59
3.5.2.	Alternativa 2: APLISAC	61
3.5.3.	Cotizaciones	62
3.6.	Selección del Brazo de Carga.....	63
Capítulo 4	Verificación hidráulica de descarga de crudo hasta tanques de almacenamiento	65
4.1.	Introducción	65
4.2.	Simulación hidráulica de crudo Residual Iquitos (RMAQ)	66
4.2.1.	Consideraciones para el cálculo	66
4.2.2.	Resultados	66

4.3.	Simulación hidráulica de crudo Yanayacu (RYPL)	68
4.3.1.	Consideraciones para el Cálculo	68
4.3.2.	Resultados	69
4.4.	Simulación hidráulica de crudo Piraña (RPER)	70
4.4.1.	Consideraciones para el cálculo	70
4.4.2.	Resultados	71
4.5.	Simulación hidráulica de crudo Los Ángeles (RCEP)	72
4.5.1.	Consideraciones para el cálculo	72
4.5.2.	Resultados	73
4.6.	Recomendaciones para la descarga de crudo	75
	Conclusiones	78
	Bibliografía	80

Introducción

El crudo bombeado por el Oleoducto Nor Peruano (ONP) parte desde la Estación 1 y Estación Andoas, de modo que es aquí donde comienza la principal función del oleoducto, el transporte de diferentes tipos de crudo. Es a la Estación 1 donde llegan barcas que transportan el crudo extraído, por las empresas privadas, para luego descargar el producto hasta la zona de pontones y posteriormente ser llevado hasta la zona de tanques.

En los últimos años, esta descarga de crudo ha sido un proceso muy lento que toma más de un día y que implica una operación insegura con mucha mano de obra, sin embargo, esta operación puede mejorarse con la implementación de brazos de carga, reduciendo el tiempo y aumentando la seguridad de los trabajos durante el proceso, lo que se ha demostrado en otras estaciones como Bayóvar, Refinería Iquitos, etc.

El objetivo del proyecto es seleccionar brazos de carga, de acuerdo a las condiciones de operación de la compañía y a su vez hacer un cálculo hidráulico, de modo que el crudo descargado llegue hasta la zona de tanques de almacenamiento.

El capítulo 1 trata acerca de la compañía a la que se realizará este estudio, la cual es Petróleos del Perú S.A., centrándose en el Oleoducto Nor Peruano, así como su funcionamiento y sus condiciones de operación, de modo que se pueda explicar su situación actual y posteriormente se entienda el porqué de la modernización de sus instalaciones.

En el capítulo 2, se tratan los fundamentos teóricos acerca de los equipos que se utilizan y las leyes que rigen, para el transporte de crudo mediante bombeo.

El capítulo 3, se basa en la selección del sistema más apropiado de brazos de carga, de acuerdo a las condiciones de operación establecidas por Petroperú, utilizando la información obtenida en campo y los sistemas propuestos por los proveedores.

En el capítulo 4, se realiza el cálculo hidráulico del bombeo del crudo desde las barcas hasta la zona de tanques, considerando los datos de operación que se han establecido una vez instalados los *loading arms*.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

Capítulo 1

Transporte de crudo en el Oleoducto Nor Peruano

1.1 Petróleos del Perú S.A.

Petróleos del Perú – Petroperú S.A., es una empresa estatal petrolera y de derecho privado, fundada el 24 de Julio de 1969, después de la expropiación a la empresa petrolera Standard Oil de New Jersey, por parte del entonces presidente Juan Francisco Velasco Alvarado. Apenas creada la empresa, debió afrontar un reto que definió su perfil: operar y mantener casi toda la compleja industria del petróleo del país con personal propio y sin apoyo técnico de la comunidad petrolera internacional, que se negó a colaborar debido a que en el país se había puesto en marcha un proceso de nacionalización por el gobierno revolucionario.

Petroperú vio la luz como una sólida empresa estatal encargada de todas las actividades de la industria petrolera del país: explorar, perforar, producir y refinar el petróleo; además del transporte y la comercialización del petróleo y sus derivados.

Se dio un nuevo impulso a la actividad petrolera, que se volcó hacia la selva, donde hubo importantes descubrimientos por la existencia de grandes reservorios. En los primeros años, los trabajos de exploración de Petroperú dieron sus frutos y el primer éxito fue el pozo Corrientes X-1 de Trompeteros, que atrajo al capital privado.

Muchos hallazgos en Trompeteros entusiasmaron al sector. Esto los llevó a desarrollar trabajos exploratorios y de perforación en los campos de Capirona, Pavayacu y Yanayacu, siempre con apoyo de la empresa privada, donde se cosecharon éxitos.

Más adelante se puso en marcha el Contrato Modelo Perú, que se caracterizaba por ser acuerdos entre Petroperú y compañías petroleras extranjeras, por el cual estas últimas se comprometían a realizar por su cuenta y riesgo un programa obligatorio de exploración de petróleo. En caso de hallazgo exitoso, el petróleo extraído era dividido en partes iguales entre la contratista y Petroperú, cada uno de los cuales lo refinaba y comercializaba por cuenta propia. Hubo esforzadas campañas de empresas extranjeras y también de Petroperú, pero los resultados no fueron alentadores. Posteriormente se construiría el Oleoducto Nor Peruano.

Los 47 años de Petroperú han sido testigos de una etapa de cambios sustanciales ajenos al espíritu de su creación. La etapa de la globalización supuso la privatización de la mayoría de las empresas del estado y la flexibilización legislativa para atraer la inversión extranjera. En ese contexto, los hidrocarburos no fueron la excepción. Se limitaron las funciones de Petroperú a exploración y explotación de hidrocarburos.

Se creó la estatal Perupetro en 1971 y quedó facultada para transferir el derecho de propiedad de los hidrocarburos. Sus campos de producción se transfieren al capital privado. Se pone a la venta sus 83 grifos, la empresa Transoceánica, la Refinería La Pampilla y la empresa Sol Gas.

Actualmente, Petroperú mantiene bajo su administración una gran capacidad de refinación, la comercialización de sus derivados y continúa brindando el servicio de transporte del petróleo por el Oleoducto Nor Peruano, pero no realiza directamente las actividades de exploración, perforación y producción del petróleo, donde el capital privado se encuentra mayoritariamente en todas sus etapas. Sin embargo, Petroperú no se ha detenido en su empeño por retornar a esas actividades, estableciéndolo como uno de sus propósitos para los próximos años.

Petroperú se esfuerza por garantizar el abastecimiento de combustibles que el país requiere. Sus productos son obtenidos con criterios de calidad y se comercializan por tierra, río y mar a todos los rincones del Perú. En la producción de los derivados del petróleo intervienen sus cuatro refinerías en Talara, Conchán, Iquitos y El Milagro (esta última, actualmente se encuentra inoperativa).

El edificio de Petroperú se encuentra ubicado en el distrito de San Isidro, Lima. Creado por los arquitectos Walter Weberhofer y Daniel Arana Ríos. Su diseño realizado el año 1969 obedece un estilo arquitectónico conocido como “brutalismo”, fue inaugurado en el año de 1973.

Las principales instalaciones de esta empresa son:

- Oleoducto Nor Peruano.
- Refinería Talara.

- Refinería El Milagro.
- Refinería Conchán.
- Refinería Iquitos.

1.2 Operaciones Oleoducto

Operaciones Oleoducto tiene como objetivo principal el transporte de petróleo crudo que se extrae en la región de la selva peruana, hacia la costa, a través del Oleoducto Nor Peruano (ONP), de modo que sea un proceso eficaz y rentable tanto para Petroperú como para las empresas privadas que extraen el crudo.

El Oleoducto Nor Peruano se encuentra ubicado en el norte del Perú, cruzando la costa, sierra y selva del país.

El ONP está conformado por tres tramos, los cuales son: Tramo I, comprendido entre la Estación 1 y la Estación 5 de una tubería con longitud de 306.1 Km. y 24 pulgadas de diámetro. El Tramo II, que cuenta con una tubería de 36 pulgadas y 549.3 Km., que atraviesa las estaciones 5, 6, 7, 8, 9 hasta el Terminal Bayóvar (donde se embarca el crudo). El Tramo Ramal Norte (ORN), que comprende una tubería de 16 pulgadas y 252 Km. de longitud, partiendo desde la Estación Andoas hasta la Estación 5.

En un principio, el Oleoducto buscaba bombear un mayor volumen de crudo, y con menores costos, es así que a lo largo de los años se han ido adquiriendo nuevos equipos, como motobombas de tipo tornillo; sin embargo, la cantidad de crudo, extraído por las empresas privadas, ha disminuido y por ello el bombeo también.

Las principales actividades que Operaciones Oleoducto realiza, son las siguientes:

Esquema 1.1. *Actividades principales de Operaciones Oleoducto.*



Fuente: Elaborado por autor.

- **Recepción de crudo:** Se descarga el crudo que ha sido extraído por las empresas privadas y/o que ha sido refinado, hasta las estaciones 1 y Andoas, donde se fiscaliza el crudo y posterior descarga desde las barcazas. Luego se separa el crudo del agua con el que se ha mezclado.
- **Almacenamiento:** El crudo descargado, es almacenado en tanques, hasta que se comience el bombeo de los diferentes tipos de crudo. En las estaciones 5 y Terminal Bayóvar, se clasifica el almacenamiento, según el cliente y según la calidad del crudo, es decir, se separa el crudo del agua, éste se almacena, se realiza una fiscalización del crudo y además un control operativo mediante sistemas SCADA

previa selección del tanque donde se pueda almacenar según el volumen de crudo existente.

- **Transporte:** Principal actividad del oleoducto. Llevar el crudo desde la selva hasta la costa, a través de las distintas estaciones de bombeo. Durante el transporte se lleva a cabo un proceso de bombeo mediante turbobombas o motobombas, siempre tomando en cuenta los parámetros de operación establecido por Petroperú.
- **Embarque de crudo:** Habiendo llegado el crudo al Terminal Bayóvar, éste es embarcado en grandes buques provenientes de distintos países. Además también se embarca crudo para ser llevado a refinerías nacionales como son Refinería Talara, Conchán y La Pampilla. Durante esta actividad, nuevamente se tiene que fiscalizar el crudo y además se debe tener un plan operativo de embarques.

1.2.1 Reseña histórica

En 1972, la división de exploración de Petroperú y de Occidental Petroleum Co., concluyeron que existían grandes reservas de petróleo crudo en la región noroeste de la selva peruana, ocasionando que diversas compañías extranjeras se interesen por explotar en aquellas zonas prósperas en hidrocarburos.

La ubicación geográfica de estas zonas dificultaba el transporte del crudo hacia los mercados internacionales, llevando a Petroperú a la necesidad de construir un oleoducto que vaya desde la selva hasta la costa norte del país. Por ello, ese mismo año se contrata a la compañía Bechtel Incorporated para que lleve a cabo la construcción de esta obra ingenieril, y así ésta realizó los estudios de pre factibilidad y factibilidad para construir un oleoducto en la selva y que a su vez cruce la Cordillera de los Andes, llegando hasta una zona costera. Los resultados fueron emitidos en noviembre de 1972, aprobando la factibilidad de construcción de esta larga tubería que cruzaría el país.

Mediante Decreto Ley 19435 del 6 de Junio de 1972 y por Decreto Supremo 040-73-EM/DS del 30 de Octubre de 1973, el Gobierno Peruano declaró de necesidad y utilidad públicas, y de la más alta prioridad nacional, la construcción del Oleoducto Nor Peruano, encomendando al Ministerio de Energía y Minas que realice y celebre a través de Petroperú, todos los estudios y contratos requerido para hacer realidad esta obra.

En 1973 fue adjudicado el contrato para el diseño del oleoducto a la compañía Bechtel, y posteriormente en 1974 se firmó el contrato con la misma empresa, para la supervisión, inspección y asesoría de gerencia de la obra. De modo que el 26 de Julio de 1974 comenzó la construcción del oleoducto, desde San José de Saramuro hasta Bayóvar, contando con la participación de diferentes empresas internacionales con amplia experiencia como: Cosapi, Wimpey, Techint, Williams-Sedco-Horn, Protexa, Occidental, Gottfeld, Page y Alambresa.

Las estaciones de bombeo 1 y 5 fueron construidas por el consorcio Williams-Sedco-Horn, mientras que las estaciones 6 y 7 estuvieron a cargo de la empresa Techint. Cosapi se encargó de la construcción de estaciones 8, 9 y además quien lleva a cabo la construcción del Terminal Bayóvar; mientras que George Wimpey & Co. Ltd. se hizo cargo de la construcción del muelle de carga.

El primer batch de crudo que recibió la estación 1, provino desde Trompeteros, el 31 de diciembre de 1976, comenzando el bombeo el 14 de enero de 1977 desde Estación 1 hasta la Estación 5, próximamente el 7 de abril del mismo año recibió crudo la Estación 6, el 27 de abril lo recibió la Estación 7, el 4 de mayo recibió la Estación 8, mientras que la 9 lo recibió el 9 de mayo, llegando el primer batch de crudo a Terminal Bayóvar el 24 de mayo de 1977, de modo que el 8 de junio de 1977 se despachó el primer buque cargado de crudo.

Posteriormente se construyó el Oleoducto Ramal Norte (ORN), que atraviesa la selva virgen y que tiene una longitud de 252 Km., y que fue diseñado por Petroperú y encargado de la construcción por la firma mexicana Protexa. El ORN entró en operación en 1978.

Tramos y estaciones

Tramo I

Este tramo empieza en la Estación Recolectora N° 1, la cual se encuentra ubicada en San José de Saramuro, y se extiende por casi 306.1 kilómetros hasta la Estación 5 en la localidad de Borja. Por este tramo del oleoducto se transportan diferentes tipos de crudo como son Mayna, Piraña, Yanayacu, Residual Iquitos, Los Ángeles, etc. La tubería de este tramo, es de 24" de diámetro, espesor 0.5" y hechas de acero API 5L y de grado X52.

Tramo II

Este tramo tiene su punto de partida en la Estación 5 (Datem del Maraón), y es el punto de unión entre el Tramo I y el Oleoducto Ramal Norte (ORN).

Este tramo se extiende hasta el Terminal Bayóvar (Sechura, Piura), cruzando 4 estaciones de rebombeo intermedias: Estación 6 (Manseriche, Alto Amazonas), Estación 7 (Bagua, Amazonas), Estación 8 (Pucará, Cajamarca) y Estación 9 (Huarmaca, Piura).

La tubería de este tramo, es de 36" de diámetro, espesor 0.5" y hechas de acero API 5L y de grado X52, con una longitud de 549.3 kilómetros.

Oleoducto Ramal Norte (ORN)

Este tramo del oleoducto comienza en la Estación Andoas, ubicada en Nuevo Andoas, departamento de Loreto. Este tramo del oleoducto fue construido tiempo

después del oleoducto principal (Tramo I y Tramo II), ya que es más factible transportar el crudo que es extraído de la zona de Andoas.

Este tramo se extiende 13 Km. en dirección sur-oeste y luego en dirección nor-oeste, atravesando los ríos Pastaza, Huasaga, Huituyacu y el río Morona, llegando así hasta la Estación Morona (en los últimos años el crudo ha pasado por un bypass, evitando llegar a esta estación) y posteriormente llega hasta la Estación 5, llegando a ser un ducto de 252 Km.

Últimamente, el ORN ha bombeado un solo tipo de crudo el cual es crudo Loreto, considerado como un fluido medianamente viscoso.

La tubería de este tramo, es de 16" de diámetro, espesor 0.5" y hechas de acero API 5L y de grado X52. Los tramos del ONP, se muestran en la Figura 1

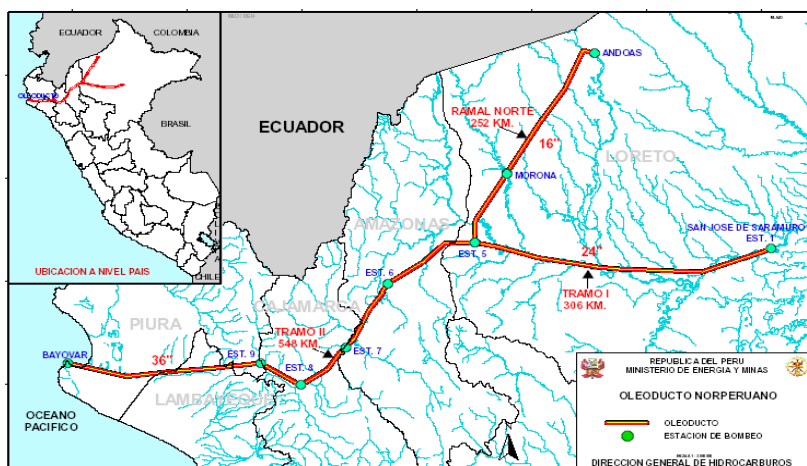


Figura 1.1. Extensión del Oleoducto Nor Peruano.

Fuente: Informes Técnicos. Petroperú S.A.

1.2.2 Datos del crudo transportado

El ONP, como se ha dicho anteriormente, transporta diferentes tipos de crudos, habiendo fluidos que presentan una viscosidad mayor que otros. A continuación se muestra las características del petróleo crudo proveniente de la zona de Andoas y de Estación 1.

Tabla 1.1. Características de Petróleo Crudo transportado por el ONP.

	Grado API	Viscosidad (cSt@40°C)	Cliente
Crudo Yanayacu	22.8	308.9	Pluspetrol
Residual Iquitos	22.8	320.7	Petroperú
Crudo Piraña	¹ 20.8	201.82	Perenco
Crudo Los Ángeles	44	2.8	Petroperú
Crudo Loreto	18	520.3	Pacific Rubiales

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

¹ Dato del Departamento de Operaciones. No hay congruencia entre grado API y viscosidad.

Mientras el grado API es mayor, se considera que el petróleo crudo posee una menor viscosidad, por lo tanto es de mejor calidad y su proceso de refinación es más sencillo que los fluidos altamente viscosos como son el Residual, Yanayacu y Loreto.

1.2.3 Descripción de las instalaciones

En cada una de las estaciones del ONP se cuentan con equipos hidráulicos que sirven de rebombeo para el transporte de crudo, es por ello que Operaciones Oleoducto cuenta con 17 turbobombas (turbinas: Ruston; bombas centrífugas: Bingham), además se cuenta con 5 motobombas (bombas de tipo tornillo: ImoPump y Flowserve, no incluye bombas de tornillo de descarga de barcasas). Es en la Estación 9 donde se cuenta con el mayor número de turbobombas, ya que esta es la estación de rebombeo que debe vencer la presión geodésica cuando el oleoducto atraviesa la Cordillera de Los Andes.

Además el ONP cuenta con tanques de almacenamiento, sistemas de alivio, equipos de generación eléctrica, y sistemas SCADA, para llevar el control de los parámetros de operación establecidos por Petroperú y en algunos sectores, establecidos por Osinergmin u OEFA.

En las siguientes tablas se muestran la ubicación geográfica de cada una de las estaciones, así como los equipos con los que cuenta el oleoducto para llevar a cabo su principal actividad de transporte de petróleo crudo con viscosidades altas.

Tabla 1.2. Ubicación geográfica estaciones Andoas, Morona, 1 y 5.

	ESTACIÓN			
	Andoas	Morona	1	5
UBICACIÓN	Nuevo Andoas Alto Amazonas Loreto	Borja Alto Amazonas Loreto	Urarinas Loreto Loreto	Manseriche Alto Amazonas Loreto
PROGRESIVA (Km)	ORN: 0.00	ORN: 170.00	ONP: 0.00	ONP: 306.10 ORN: 252.00
ALTURA (m.s.n.m.)	154.00	124.00	122.00	282.00

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Tabla 1.3. Ubicación geográfica de estaciones 6 a 9 y Bayóvar.

	ESTACIÓN				
	6	7	8	9	Bayóvar
UBICACIÓN	Cenepa Bagua Amazonas	Bagua Bagua Amazonas	Pucará Jaen Cajamarca	Huarmaca Huancabamba Piura	Sechura Piura Piura
PROGRESIVA (Km)	ONP: 417.80	ONP: 518.50	ONP: 593.40	ONP: 648.90	ONP: 855.40
ALTURA (m.s.n.m.)	306.00	430.00	820.00	1162.00	161.00

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Tabla 1.4. Características y datos de operación de las estaciones de bombeo del Oleoducto Norperuano – Actualizado.

	E S T A C I O N E S								
	1	5	6	7	8	9	BAYOVAR	ANDOAS	MORONA
EQUIPOS PARA BOMBEO	1 Turbobomba 1750 HP Rust/Bing	2 Turbobombas 4000 HP Rust/Bing	2 Turbobombas 4000 HP Rust/Bing	2 Turbobombas 4000 HP Rust/Bing	2 Turbobombas 4000 HP Rust/Bing	5 Turbobombas 4000 HP Rust/Bing	PARA PANAMAX 1 Turbobomba 1750 HP Rust/Bing	2 Turbobombas 4000 HP Ruston	2 Motobombas CAT. Tornillo 3412 475 HP
	1 Motobomba 825 HP CAT3981/Bing						1 Motobomba 825 HP CAT3981/Bing	2 Motobombas CAT. Tornillo 750HP	
								1 Motobomba Centrifuga 825 HP CAT3981/Bing	
EQUIPOS PARA GENERACIÓN	2 Motog. CAT 3 412 450 KW	1 Turb/Gen. 1100 KW Rust.Gen.Elec.	1 Motog. 3406 360 Kw.	1 Turb/Gen. 1100 KW Rust.Gen.Elec.	1 Turb/Gen. 1100 KW Rust.Gen.Elec.	1 Turb/Gen. 1100 KW Rust.Gen.Elec.	1 Turb/Gen. 1100 KW Rust.Gen.Elec.	3 Motogenerador CAT C-15 500 KW	2Motogenerador CAT 3306 75 KW 1Perk 125 KW
	1 Motog. CAT 3512 1000 KW	3 Motogenerador CAT 3412 1100 KW	1Motg CAT 3306 135 Kw	1 Motogenerador CAT 3412 600kw	1 Motogenerador CAT 3412 450 kw 01 Mot. Cap 3306 135 kw	1 Motogenerador CAT-3412- C 450 KW	1 Motogenerador CAT 3412 450 KW 2 Motogenerador CUMMINS 75 KW		
CAPACIDAD ALMACENAMIENTO	3 Tks 121MB 2 Tks 50MB VTA : 463 MB	3 Tks 140MB 2 Tks 148MB 1 Tk 121MB VTA : 837 MB		1TK. 7D-9(18 MB) 2 Tks 13.5MB VTA : 31.5 MB (Crudo RFEM)			14 Tks 140MB VTA : 1,960 MB 01 Tk.12 MB Para Panamax	2 Tks 31.5MB 1 Tk 115MB VTA : 178 MB	
ALIVIO		1 Tk 21MB 1 Tk 20MB	1 Tk 21MB	1 Tk 21MB	1 Tk 21MB	2 Tks 21MB	1 Tk 21MB 1 Tk 1.7MB		1 Tk 5MB
BOMBAS AUXILIARES	2 Electrobomb. refuerzo G.Elect. / IR.	3 Electrobomb. refuerzo G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. inyección G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. inyección G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. inyección G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. refuerzo G.Elect. / IR. 1 Electrobomb. Siemens / IR	2 Electrobomb. transf./ Inyec. G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. refuerzo G.Elect. / IR.	2 Electrobomb. inyección W. House.
PRESION(Kg/Cm²)									
Succ.Minima	4.5	4.5	17.0	7.5	4.5	5.5		3.5	50 psi
Succ. Trabajo	5.0 - 13.0	5.8 - 8.5	23-25	26.0	11 -15	15.0		6.0 -- 11.1	100 psi
Desc. Trabajo	20.0 - 32.0	53 - 60	54 - 57	48 - 54	47 - 52	109-118		85 -90	900 psi
Desc.Maxima	54.0	62.0	59.0	58.0	54.5	132.0		128.0	
SIST.ALIVIO(Kg/Cm²)									
Presión Fija			26.0	28.0	17.0	16.0			500 psi
Contrapresión			29.0	31.0	20.0	19.0			1100 psi
COMBUST.(Gl/Dia)									
Con Bombeo	331	7,400	5,300	5,350	5,400	16,600	-----	930	800
Sin Bombeo	31	500	150	450	210	250	330	315	90
INDICE PRODUCT.									
Año 2012 (Bls./Gl)	6.14	12.87	18.41	22.28	18.61	6.81	62.89	17.10	0.03
AREA RESERVADA (mt²)	1,778,016	9,395,360	1,804,640	4,993,454	1,942,384	2,440,056	5,194,487	1,259,436	931,703

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

1.2.4 Criterios de diseño del Oleoducto Nor Peruano

El ONP fue diseñado por Bechtel, de acuerdo al Código ANSI B31.4 “*Sistema de Tubería para el Transporte de Petróleo Líquido*” – Edición 1971. Además la tubería del oleoducto presenta las siguientes características:

Tabla 1.5. *Datos de tubería del ONP.*

Datos de Tubería del ONP			
Material	Standard	Grado	Límite Elasticidad (psi)
Acero	API 5L	X52	52000

Elaborado por: Autor.

Fuente: Manuel del diseño definitivo del Oleoducto Nor Peruano.

Se realizaron pruebas en planta, donde la tubería fue sometida a pruebas de esfuerzo al 90% de la tensión de límite de fluencia para la tubería del ORN y Tramo I, y al 92% para la tubería del Tramo II. Los criterios de diseño serán mostrados a continuación:

1.2.4.1 Caudal de diseño

Tabla 1.6. *Caudal de diseño y nominal (95% de carga) del ONP.*

TRAMO	CAUDAL DE DISEÑO m³/hora	CAUDAL NOMINAL m³/hora
I	1656 (250 MBPD)	1573 (238 MBPD)
II	3491 (527 MBPD)	3317 (501 MBPD)
ORN	606 (105 MBPD)	576 (100 MBPD)

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

1.2.4.2 Características del petróleo crudo

Para realizar los parámetros de diseño, se establecieron valores de crudo con una viscosidad no muy elevada, para que a partir de ello se seleccionen los equipos necesarios para el bombeo:

Tabla 1.7. *Calidad promedio del crudo bombeado por cada tramo.*

TRAMO	°API	PESO ESPECÍFICO	VISCOSIDAD
I	23.6	0.9123	460 cSt@15°C
II	23	0.9158	560 cSt@15°C
ORN	18	0.9464	520 cSt@15°C

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

1.2.4.3 Presión de diseño

La norma ANSI B31.4, nos da la siguiente fórmula:

$$PD = \frac{2 \cdot \sigma \cdot t \cdot F \cdot T \cdot E}{D} \quad [1.1]$$

Donde:

PD	:	Presión de diseño (Kg/cm ²)
σ	:	Límite de elasticidad
t	:	Espesor nominal de la tubería (mm). Para el diseño se tomó ² t = 0.5”.
F	:	Factor de diseño (0.72)
T	:	Factor de corrección por temperatura de operación. T=1
E	:	Factor de soldadura. Para acero 5LX, E=1.
D	:	Diámetro exterior de la tubería.

$$PD_{\text{Tramo I}} = \frac{2 \cdot 3656 \cdot 0.0127 \cdot 0.72 \cdot 1 \cdot 1}{0.6096} = 109.68 \text{ kg/cm}^2 \quad [1.2]$$

$$PD_{\text{ORN}} = \frac{2 \cdot 3656 \cdot 0.0127 \cdot 0.72 \cdot 1 \cdot 1}{0.4064} = 164.52 \text{ kg/cm}^2 \quad [1.3]$$

$$PD_{\text{Tramo II}} = \frac{2 \cdot 3656 \cdot 0.0127 \cdot 0.72 \cdot 1 \cdot 1}{0.9144} = 73.12 \text{ kg/cm}^2 \quad [1.4]$$

En la determinación de las presiones de diseño se toma como dato general, un espesor de 0.5”, sin embargo, por condiciones climáticas de acuerdo a la ubicación de cada tramo de la tubería, se puede considerar que la presión es mucho menor, ya que el oleoducto ha ido perdiendo espesor a lo largo de los años.

La presión de diseño es un parámetro muy importante debido a que es un indicador de la presión a la que debería trabajar el oleoducto, para evitar una falla por sobrepresión, la cual es causante de roturas de la tubería y por consiguiente derrames del fluido que está siendo transportado. La presión de descarga del sistema de bombeo, tiene que ser menor a la presión de diseño del ONP.

1.2.4.4 Pérdidas de carga en el ONP

Otro criterio en el diseño del oleoducto, es determinar la caída de presión que se produce debido al transporte de distintos fluidos, lo cual causa un gradiente de presión negativo y por tanto es indispensable, para conocer el tipo de bombas a usar y por consiguiente determinar a qué condiciones de operación debe trabajar el oleoducto.

Para dicho cálculo se necesita la siguiente fórmula:

$$H_{\text{perdida}} = H_{\text{primaria}} + H_{\text{secundaria}} \quad [1.5]$$

²El valor del espesor varía a lo largo del oleoducto por la presencia de corrosión, debido a las diferentes condiciones climáticas a las que se expone el material.

De modo que:

$$H_{primarias} = \frac{8\lambda L}{\pi g D^5} Q^2 \quad [1.6]$$

$$H_{secundarias} = \frac{8\zeta}{\pi g D^4} Q^2 \quad [1.7]$$

Donde:

$H_{primarias}$: Pérdidas por la geometría y material de la tubería.

$H_{secundarias}$: Pérdidas por la forma y accesorios de la tubería.

λ : Factor de Darcy.

L : Longitud de la tubería.

Q : Caudal de operación.

ζ : Constante de pérdidas secundarias.

D : Diámetro nominal de la tubería.

G : Aceleración de la gravedad.

1.2.5 Situación actual del ONP

El oleoducto ha operado casi 39 años, por lo cual los equipos e instalaciones se han ido deteriorando, ya sea por desgaste, horas máquina y a la vez las condiciones climáticas que han afectado al oleoducto. Por consiguiente, sus condiciones de bombeo han cambiado, de manera que la eficacia en el transporte de crudo ha disminuido.

Otro factor importante es la demanda de crudo a nivel mundial y el bajo precio al que cayó el barril de crudo, que afectaron notablemente la extracción de petróleo crudo por las empresas privadas, afectando también a la principal actividad de Operaciones Oleoducto, la cual es el transporte de cientos de miles de barriles de crudo por día. A continuación se detalla los ³datos operativos del oleoducto en el último año 2015.

Tabla 1.8. Caudal promedio y tipo de crudo bombeado por cada tramo.

Bombeo de Petróleo Crudo		
Tramo	Tipo de Crudo	Caudal
I	Residual, Piraña, Cepsa	14100 BPD
II	Residual, Piraña, Cepsa, Loreto	55800 BPD
ORN	Loreto	13100 BPD

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Además las presiones de succión y descarga a las que se han estado trabajando se presentan en la tabla 1.9.

³ Los datos son tomados a partir del promedio de los últimos 3 meses de operación del ONP.

Tabla 1.9. Presión de succión y descarga promedio de cada estación de bombeo.

Presiones de Succión y Descarga del ONP		
Estación	Presión de Succión	Presión de Descarga
Andoas	6.8 Kg/cm ²	70.0 Kg/cm ²
1	6.8 Kg/cm ²	40.0 Kg/cm ²
5	8.5 Kg/cm ²	55.6 Kg/cm ²
6	21.5 Kg/cm ²	56.0 Kg/cm ²
7	15.1 Kg/cm ²	48.0 Kg/cm ²
8	10.3 Kg/cm ²	45.0 Kg/cm ²
9	10.0 Kg/cm ²	111.0 Kg/cm ²

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Se puede notar que la Estación 9 bombea con una presión de descarga muy alta, ya que es aquí donde se produce el último rebombeo antes de que el crudo llegue al Terminal Bayóvar, de modo que su presión tiene que vencer una columna de agua provocada por el nivel del terreno por el que atraviesa el oleoducto. Además, en el Terminal Bayóvar no se registra presión de succión, ya que el crudo llega por gravedad hasta los tanques.

El ONP además cuenta con sistemas de inspección de tuberías, a través de mecanismos electrónicos llamados *raspatubos*, los cuales por medio de sus escobillas no solo limpian el oleoducto, sino también miden los espesores remanentes de la tubería, para así anticipar una posible falla o rotura que pueda darse. También son utilizados como separadores de *batches* entre un tipo de crudo y otro.



Figura 1.2. Raspatubos Inteligentes utilizados en el ONP.

Fuente: <http://produtecperu.com/servicios.html>.

Tabla 1.10. Datos reales de avances de raspatubos a lo largo del ONP.

TIPO Y CORRELATIVO TRAMO I	DESTINO SIGUIENTE	KMS. RECORRIDOS	PROGRESIVA	
			KMS.	OBSERVACIONES
ROSEN 8D EST1-020C-15	5	245.38	245.38	FIN RPS / INICIO CEPESA 8.1
ROSEN 8D EST1-020C-15	5	237.03	237.03	FIN CEPESA/ INICIO PIRANA 8.2
ROSEN 8D EST1-021A-15	5	168.65	168.65	FIN PIRANA 8.2/INICIO CEPESA 8.3
ROSEN 8D EST.1-021B-16	5	160.12	160.12	FIN CEPESA / INICIO RPS 8.4
ROSEN 8D EST.1-022A-16	5	85.75	85.75	FIN RPS/INIC. PIRANA 8.5
ROSEN 8D EST.1-022B-16	5	67.39	67.39	FIN PIRANA/INIC. RPS
TRAMO II:				
ROSEN 8D EST.9-017A-15 + 55GLS BIOCID	BAY	171.65	820.55	INICIO BATCH CEPESA 4.4
ROSEN 8D EST.9-017B-15	BAY	163.26	812.16	INICIO BATCH RPS 4.4
ROSEN 8D EST.9-017 C.16	BAY	133.16	783.06	FIN RPS / INIC CEPESA 4.4
ROSEN 8D EST.7-018 D.16	BAY	129.18	778.08	FIN CEPESA/ INICIO LORETO 4.5
ROSEN 8D EST.9-019A-15 + 55 GLS	BAY	77.42	726.32	FIN LORETO 4.5 / INIC CEPESA 4.6
ENDURO 4D EST.9-019B-15	BAY	72.12	721.02	FIN CEPESA 4.6/ INICIO RPS 4.6
ENDURO 3D2C EST.9-019C-16	BAY	43.50	692.40	FIN DE RPS 4.6/INIC CEPESA
ENDURO 6D EST.7-019D-15	BAY	38.24	687.14	FIN CEPESA 4.6 / INICIO LORETO
ENDURO 3D2C EST.9-20A-16	BAY	5.84	654.90	FIN LORETO 4.7 / INICIO CEPESA
ENDURO 2C EST.9-20B-16	BAY	0.70	649.60	FIN CEPESA / INICIO R-6 4.8
ENDURO 6D EST.7-020C-15	9	319.09	625.24	FIN RPS 4.8 / INICIO CEPESA
ENDURO 3D1C EST.7-020D-15	9	313.89	620.04	FIN CEPESA / INIC. LORETO 5.1
ENDURO 3D2C EST.7-LIMPIEZA + 55 GLS	9	78.36	596.82	MITAD DE LORETO 5.1
ENDURO 3D2C EST.7-021 A-15	9	587.82	587.82	FIN LORETO / INIC CEPESA 5.2
ENDURO 3D2C EST.7-021B-15 8TIGRE 15)	9	62.84	581.34	FIN CEPESA/ INICIO RPS 5.2
ROSEN 8D EST.7-021C-15	9	38.19	556.69	FIN RPS / INICIO CEPESA 5.2
ENDURO 3D 2C EST.7- 021D-2016	9	29.30	547.80	FIN CEPESA / INIC LORETO 5.3
ENDURO 3D 1C EST.5-022A-15	7	179.80	485.95	FIN LORETO/INICIO CEPESA 5.4
ROSEN 4D EST.5-022B-15	7	174.68	480.78	FIN CEPESA/INICIO RPS 5.4
ENDURO 4D EST.5-022C-16	7	148.76	454.86	FIN RPS 5/INC CEPESA 5.4
ENDURO 4D EST.5-022D-16+55 GLS BIOC.	7	133.14	448.87	FIN CEPESA/INICIO PIRANA 5.5
ENDURO 3D2C EST.5-023A-16	7	108.54	422.17	FIN PIRANA 5.5/INIC LORETO 5.6
ENDURO 2C ESCOB. METAL. EST.+55GLS. 1	7	55.30	361.40	FIN LORETO/INIC. CEPESA 5.7
ENDURO 3D2C EST. 5-024 2016	7	39.44	345.59	FIN LORETO/INIC. CEPESA 5.7
ENDURO 2C 3D EST. 5-024-2016	7	6.83	339.56	FIN CEPESA / INIC RPS. 5.7
ENDURO 3D 2C EST. 5-024-2016	7	4.01	310.16	FIN RPS 8 / INICIO CEPESA 5.7
TRAMO ORN				
ROSEN 8 DISCOS ENA 019-15	MORONA	98.05	98.05	DE ACUERDO A PROGRAMA
ENDURO 04D EST. ENA 018 D. 15	MORONA	170.00	170.00	SEGUN PROGRAMA

Elaborado por: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Fuente: Departamento de Operaciones. Petroperú S.A.

Se precisa que actualmente, el ONP no ha bombeado petróleo crudo desde el 03/02/2016, ya que ese día se produjo el primer derrame de petróleo del año, de modo que el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería junto con la OEFA han prohibido el uso de este oleoducto, por lo que los datos que se han tomado para la situación actual del oleoducto, han sido los transcurridos desde setiembre del 2015 hasta enero del 2016.

Capítulo 2

Sistema de carga y descarga de hidrocarburos

2.1. Introducción

Para la selección de los brazos de carga o *loading marine arms* y posterior simulación hidráulica, es necesario realizar un dimensionamiento para así poder adecuar un sistema de carga y descarga de crudo a la zona de pontones de Petroperú, en específico. Asimismo, se debe realizar una simulación hidráulica del sistema de bombeo, donde se toma como punto de inicio el punto de acople de los brazos de carga con la barcaza hasta la zona de tanques de almacenamiento, por lo que se determinan las pérdidas de carga y además si se necesita un cambio de esta tubería, se realizará.

Para realizar el respectivo trabajo de investigación, es necesario tener claro la teoría de estos sistemas que se deban realizar para que este proceso de descarga de crudo se realice.

Es por ello que en este capítulo se precisa conocer más acerca de los sistemas de descarga, en específico de los *loading marine arms*, y también de los ⁴sistemas de bombeo, así como los accesorios principales que lo incluyen y algunos de los principios matemáticos que se tomarán en cuenta en este proyecto de tesis.

⁴ NOTA: El ONP trabaja con dos tipos de bombas: Bombas centrífugas y Bombas tipo tornillo.

2.2. Fundamentos teóricos

En un sistema hidráulico, siempre se trabaja con un fluido, el cual se define como una sustancia que sufre una deformación continua cuando se le aplica un esfuerzo cortante muy pequeño. Estos fluidos se dividen en líquidos y gases, siendo las fuerzas intermoleculares mayores en los líquidos.

En el sistema hidráulico del ONP, sólo se bombean fluidos líquidos, por lo que es necesario conocer las propiedades de los fluidos a bombear, así como analizar el comportamiento del flujo de estos a lo largo de las instalaciones. Por ello se precisa también conocer la teoría hidrodinámica del fluido.

2.2.1. Propiedades de un fluido

Cada fluido presenta diferentes características que dependen de su composición química. Son estas características las que influyen posteriormente en los resultados del cálculo en un análisis de un sistema hidráulico. Algunas de las propiedades más influyentes de un fluido, en este campo de estudio, son:

2.2.1.1. Densidad

La densidad de un fluido es la relación entre la masa de la sustancia y el espacio que ésta ocupa, es decir, el volumen. Se describe como la compacidad de un material o alguna sustancia. Además se considera una propiedad intensiva ya que permanece constante en la sustancia, a pesar de que sus magnitudes como la masa y el volumen son consideradas propiedades extensivas.

$$\rho = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad [2.1]$$

La densidad puede expresarse en las siguientes unidades:

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 62.428 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} = 8.3454 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}.$$

2.2.1.2. Peso específico (γ)

Se define como el peso por unidad de volumen. Es una propiedad que relaciona la densidad de un fluido y los efectos de la constante gravitacional.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad [2.2]$$

2.2.1.3. Gravedad específica (SG)

Es una magnitud adimensional, que se define como la relación entre la densidad de una sustancia, respecto a la densidad del agua, a una determinada temperatura.

$$SG = \frac{\text{Densidad Sustancia}}{\text{Densidad del Agua}} = \frac{\rho_{\text{sustancia @T}}}{\rho_{\text{agua @T}}} \quad [2.3]$$

2.2.1.4.Gravedad API

Es una gravedad que ha sido determinada por más de 400 corporaciones de la industria del petróleo, y que ha permitido establecer normas para la producción, refinamiento, y distribución de productos de petróleo. Por lo tanto, la gravedad API compara la densidad del petróleo a partir de su gravedad específica.

$$API = \frac{141.5}{131.5 + SG_{crudo}} \quad [2.4]$$

La gravedad API depende de la gravedad específica, por consiguiente, es una “propiedad” adimensional.

Mientras la gravedad API es menor, el fluido se considera más pesado, es decir con una mayor viscosidad.

2.2.1.5.Viscosidad absoluta (μ) y cinemática (ν)

La viscosidad se define como la resistencia de un fluido a fluir. Se describe como la fricción interna en el movimiento de un fluido, por el rozamiento de moléculas unas con otras. Los gases también tienen viscosidad, sin embargo, es más difícil notarlo en condiciones normales.

Esta propiedad es muy importante en la selección de los equipos de bombeo. Por ejemplo: un fluido viscoso, necesita una bomba con mayor potencia o el cambio de una bomba centrífuga por una bomba de desplazamiento positivo.

Un fluido tiende a disminuir su viscosidad cuando aumenta su temperatura, y tiende a aumentar su viscosidad cuando la temperatura disminuye.

Las unidades de la viscosidad absoluta, son las siguientes:

$$1 \text{ Poiseuille (PI)} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ Poise (P)} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0.1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 100 \text{ cP}$$

La viscosidad cinemática es la relación de la viscosidad dinámica de un fluido, respecto a su densidad. Esta magnitud es más utilizada en la industria petroquímica.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [2.5]$$

Las unidades de la viscosidad cinemática, son las siguientes:

$$1 \text{ Centistoke (cSt)} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

2.2.2. Hidrodinámica

Es la parte de la hidráulica que centra su estudio en la dinámica o movimiento de un fluido. Es así que hablaremos de las características y principios que nos importan en el desarrollo de este proyecto:

2.2.2.1. Caudal

También llamado gasto, se define como el producto de la velocidad con la que un fluido fluye y el área por el que éste fluye. De modo que matemáticamente expresa el volumen por el que pasa por una sección en una determinada unidad de tiempo.

$$Q = V \cdot A \quad [2.6]$$

Donde:

V = Velocidad del fluido (m/s).

A = Área de la sección (m^2).

2.2.2.2. Ecuación de la continuidad

También conocida como Ecuación de la Conservación de la Masa, expresa que el flujo másico de un fluido debe permanecer constante a lo largo de toda la trayectoria que éste recorre, a pesar de que la sección de su trayectoria, la velocidad o la densidad del fluido varíen.

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad [2.7]$$

Además si se considera que el fluido es incompresible $\rho_1 = \rho_2$, se cumple que:

$$Q_1 = Q_2 = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad [2.8]$$

2.2.2.3. Principio de Bernoulli

Este principio describe el comportamiento de un fluido, a lo largo de una trayectoria. Y es que de acuerdo a la ecuación de la continuidad, la rapidez de un fluido varía a lo largo de la trayectoria del fluido, y además la presión puede variar dependiendo de la altura a la que se encuentre el fluido.

Este principio también parte del Efecto Bernoulli, el cual trata del comportamiento cualitativo que presenta un fluido, cuando disminuye la presión en una determinada región de la trayectoria, y a la vez aumenta la velocidad del flujo.

Es así que en la ecuación de Bernoulli, se conviene relacionar estos 3 parámetros, los cuáles son la presión hidrostática, la velocidad y la altura del fluido, a lo largo de una trayectoria. Este principio está basado en la ecuación de la conservación de la energía.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad [2.9]$$

Donde:

P = Presión hidrostática.

h = Altura del fluido en ese punto, respecto a un nivel de referencia.

v = Velocidad del fluido.

ρ = Densidad del fluido.

g = Aceleración de la gravedad.

2.3. Sistema de carga y descarga de hidrocarburos

Hablar de un sistema de carga y descarga de hidrocarburos, abarca desde las instalaciones de la embarcación que contiene el crudo hasta los equipos necesarios para que el crudo sea llevado desde estas embarcaciones hasta la ubicación donde será almacenado.

Para ello se hablará de las embarcaciones petroleras y de los equipos que se proyectan implementar dentro del Oleoducto Nor Peruano.

2.3.1. Embarcaciones petroleras

Se definen como embarcaciones de construcción especial, cuya principal función es el transporte de líquidos inflamables o combustibles líquidos. Las embarcaciones petroleras presentan características distintas, ya que cada una tiene una necesidad específica. Es decir, se pueden clasificar según la capacidad de crudo que transportan (Panamax, Aframax, Suez Max, ULCC, etc.), los cuales cargan desde 10 mil toneladas hasta 550 mil toneladas. También se clasifican por el tipo de crudo transportado, las cuales pueden ser: embarcaciones de crudos pesados o carga sucia, y embarcaciones de crudo liviano, que se refiere al crudo refinado (gasolinas, kerosenes, alcoholes carburantes, etc) y a su vez hay embarcaciones que pueden transportar diferentes tipos de crudo (diferentes viscosidades). En la figura 2.1, se puede apreciar esta clasificación.

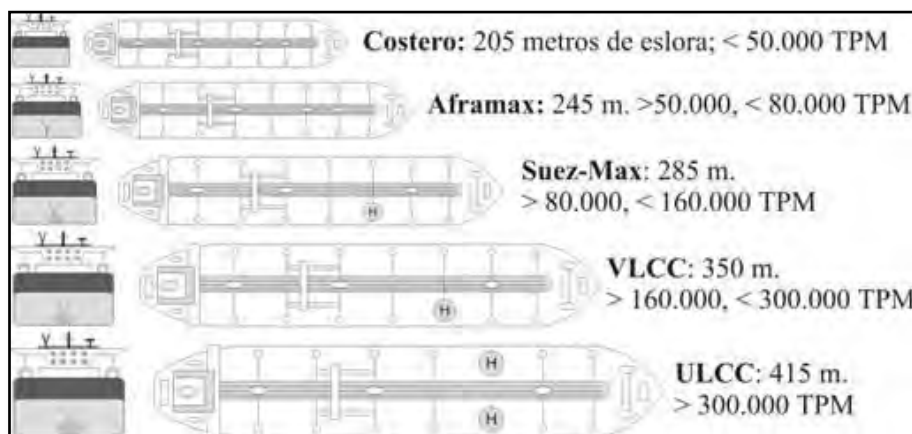


Figura 2.1. Clasificación de embarcaciones (toneladas por metro)

Fuente: http://marenostrum.org/ecologia/medio_ambiente/prestige/desgracia2.htm.

Las principales instalaciones de un buque petrolero, se detallan a continuación:

2.3.1.1. Cubierta de carga

Toda la instalación de redes de tuberías (línea de carga, línea de sistema contra incendio, etc) y conexiones para carga/descarga (manifold), se encuentran en la cubierta de carga. Así tenemos, las siguientes secciones:

- **Manifold de carga/descarga:** Es de gran importancia, ya que es el punto de ingreso de la carga a las embarcaciones, y a su vez también por donde se descargará el producto hasta su destino, por medio de su sistema de válvulas que se conectan con las líneas de carga de los tanques, extrayéndose o dirigiendo la carga hasta estos. El manifold o manifolds deben encontrarse en los extremos de la cubierta, de modo que sea más factible su comunicación con los sistemas de carga/descarga de crudo. Se puede apreciar en la figura 2.2.



Figura 2.2. Manifold de embarcación petrolera.

Fuente: <http://www.chemicaltankerguide.com/cargo-loading.html>.

- **Línea de carga:** Es el elemento principal del manejo de la carga dentro de un petrolero de crudo. Es esencial para la carga y descarga de crudo. Cruzan la cubierta de carga, desde el manifold hasta los tanques de carga. Las líneas de carga se pueden apreciar por encima de la cubierta, ya que son las que presentan mayor diámetro, sin embargo en la actualidad, las nuevas embarcaciones, presentan sus líneas de carga por el interior de éstas, de modo que sea un sistema más seguro en caso de derrame.



Figura 2.3. Líneas de carga/descarga de embarcación petrolera.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/imagen-de-archivo-tubos-en-la-cubierta-del-petrolero-image11044821>.

- **Líneas de sistema contra incendio:** En los sistemas e instalaciones de transporte de hidrocarburo, se debe contar con un sistema contra incendio, debido a que la materia prima de estos procesos es un fluido inflamable. Es por ello que todas las embarcaciones petroleras implementan este sistema, el cual implica una red de tuberías por las cuales circulan agua y que son rociadas por medio de aspersores y también cuentan con un sistema por el cual suministran agua espumante (agua + espuma fluoproteica) para evitar la propagación del fuego en el caso de un siniestro.



Figura 2.4. Sistema contra incendio de embarcación petrolera.

Fuente: <http://www.atmosferis.com/incendios-sistema-de-extincion-por-chorro-directo-de-agua/>.

2.3.1.2. Tanques de carga

Las líneas de carga conectan el manifold con los compartimentos donde se almacenará el crudo. Estos almacenamientos por lo general son tanques.

Existen más tanques en una embarcación que transporta crudo refinado que en una embarcación con crudo en su estado primo, debido a que por lo general las

embarcaciones petroleras transportan pocos tipo de crudo sin refinar, en cambio, transportan distintos tipos de crudo refinado, por lo que evitan la mezcla de éstos.

Los tanques de carga cuentan con serpentines de calefacción a vapor, lo que permite transportar crudos de altas viscosidades y así hacer más fácil el proceso de carga y descarga (mayor temperatura conlleva a menor viscosidad). Además, estos tanques presentan un sistema de lavado con crudos COW (Crude Oil Washing) y están equipados con sistemas de inyección de gas inerte, cuya finalidad es brindar seguridad a la embarcación de modo los riesgos de fuego y explosión sean muy bajos. El llenado y vaciado se hace por el fondo.

Según la ⁵MARPOL (Marine Pollution – Contaminación Marina) 73/78, prohíbe que los tanques de carga sean utilizados como tanques de lastre, sino que cada embarcación debe tener sus tanques de lastre para esa función en específico.

Los tanques de carga además de equipos de calefacción y lavado, también están implementados por tecnologías que miden la capacidad de llenado del tanque ya sea medido por huincha o por radares (según el tiempo de choque de ondas electromagnéticas emitidas, se calcula el nivel).

También cuenta con sistemas de medición de concentración de gases (hidrocarburos, oxígeno, etc) con el fin de comprobar si el ingreso de personal operativo dentro de la zona de tanques es seguro y también para salvaguardar la integridad de los equipos. Por consiguiente, si estos tanques tienen concentraciones de gases altas, estos presentan sistemas que controlan la salida de los gases que se encuentran en su interior. De modo que los gases se expulsan por la cubierta de carga, salvaguardando el ambiente marino, como lo reglamenta el convenio SOLAS-IMO (International Maritime Organization).

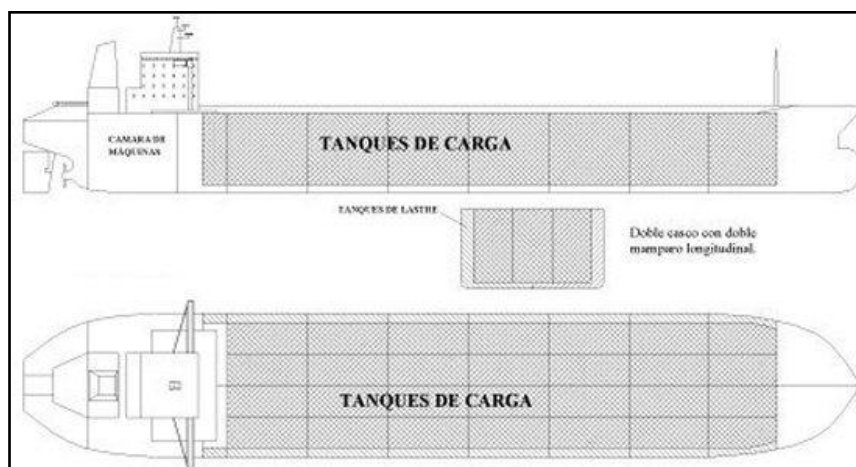


Figura 2.5. Tanques de carga en embarcaciones petroleras.

Fuente: http://www.revistanaval.com/archivo-2001-2003/petroleros_i.htm.

⁵ Convención Internacional para la Prevención de Contaminación de Embarcaciones.

Para el proceso de carga y descarga de crudo es necesario que estas embarcaciones cuenten con sus sistemas de bombeo o salas de bombas y a la vez con un sistema de control de la carga, que por lo general se trata de un sistema SCADA.

Es a través de las bombas, que el crudo será transportado desde el terminal de almacenamiento hasta las embarcaciones y viceversa. Por lo general, estas bombas son de potencia media, ya que los tramos de bombeo son cortos; salvo excepción, en que el crudo a transportar tenga una viscosidad muy alta.

El sistema SCADA con el que cuenta cada embarcación es esencial, ya que a través de actuadores se abren y se cierran válvulas, dependiendo de la información emitida por los sensores de nivel de cada tanque. Además, se controlan posibles fugas o algún desperfecto en el proceso de llenado, aun cuando ya ha sido almacenado en los tanques de carga.



Figura 2.6. Sala de bombas de embarcación.

Fuente: <http://sajaindyna.com/division-industrial/montaje-de-tuberias/montaje-de-tuberias-y-salas-de-bombas-de-procesos-industriales/>.



Figura 2.7. SCADA implementado en sala de control.

Fuente: https://www.trihedral.com/images/Marine-industry/Marine_FuelTanksOverview.png.

Notas:

- En la actualidad, las embarcaciones petroleras son diseñadas para que sus tanques de carga no actúen con fines de lastrado, sino que éstas poseen sus propios tanques de lastre separados.
- Las bombas utilizadas, por lo general, son turbobombas de vapor o electrobombas y son usadas para las líneas de carga.
- Una vez realizado el proceso de descarga de crudo, los tanques de carga quedan con restos de crudo, gases y vapores, por lo que el mejor lavado de estos, es con el uso de gas inerte (constituido de CO₂). Este gas tiene como finalidad proporcionar protección contra explosiones de los tanques, al desplazar al aire de los tanques de carga, evitando así la presencia de oxígeno (forma parte del triángulo de fuego).

2.3.2. Equipos y procesos de carga/descarga de crudo

Generalmente se conocen dos tipos de métodos de carga que realizan este proceso de llenado o descarga de crudo, los cuales son mediante mangueras y brazos de carga/descarga. A continuación se detallan estos dos métodos:

2.3.2.1. Proceso de carga/descarga mediante manguera

Estas mangueras por lo general son fabricadas de material PVC de nitrilo o de caucho. A su vez, éstas presentan acopladores bridados en los extremos, de modo que conecten el manifold de la embarcación petrolera con el manifold o tubería que se encuentre presente en el terminal.

El procedimiento con el uso de mangueras es el siguiente:

- a) La manguera es sujeta mediante sogas o cables, para así poder maniobrar con éstas de forma segura.
- b) La manguera se eleva mediante polipasto o grúas conectados a los cables de amarre. Posteriormente el personal maniobra los equipos y la manguera hasta la conexión de ésta.
- c) Un acople del extremo de la manguera, se conecta con el manifold del terminal, de modo que esta conexión evite cualquier tipo de fuga.
- d) El otro acople se conecta con el manifold de carga de la embarcación. Este acople debe ser bridado.
- e) Comienza el proceso de carga/descarga de crudo. Para ello siempre debe haber personal operativo y de seguridad, ante una posible fuga.

Notas:

- Durante la carga/descarga de crudo, se recomienda que el polipasto o grúa sujeten la manguera, de manera que no se dificulte la succión del fluido.
- El proceso de conexión de la manguera puede tomar mucho tiempo y requiere cierta cantidad de personal (5 personas o más).



Figura 2.8. Proceso de carga/descarga mediante manguera.

Fuente: <http://www.kmx.cl/product/manguera-composite/>.

2.3.2.2. Proceso de carga/descarga mediante brazos de carga

Los brazos de carga o *Loading Marine Arms* son equipos diseñados específicamente para el transporte de crudo. Este traspaso de crudo puede ser desde un terminal o muelle hasta una barcaza y viceversa, así como también entre camiones cisternas.

Se llaman así por la forma que tienen estos sistemas, que presentan articulaciones parecidas a las del brazo humano.

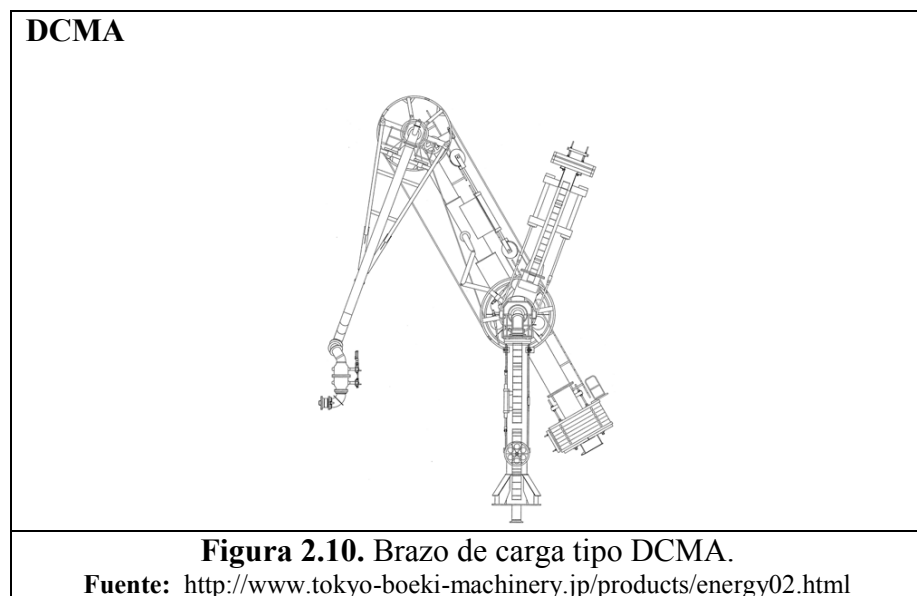
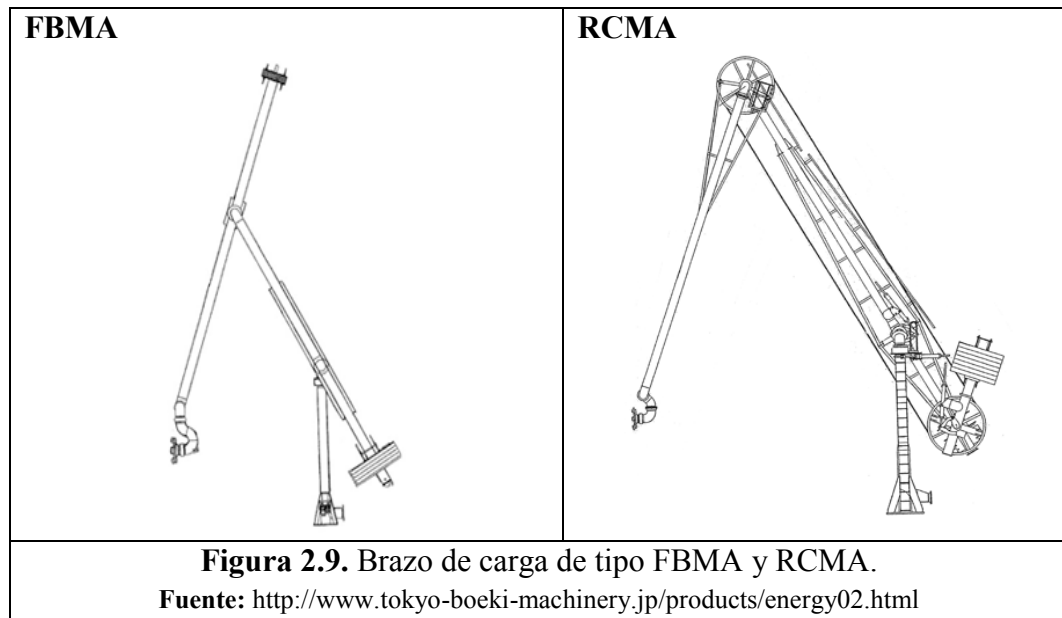
Los brazos de carga son sistemas que pueden ser utilizados de manera manual, remota y también pueden ser automatizados.

En comparación del uso con manguera, el brazo de carga proporciona una mejor funcionalidad en el manejo, maniobra y mantenimiento del equipo. Además se requiere la mínima energía humana para llevar a cabo su principal función.

Existen distintos tipos de brazo de carga. Algunos de ellos se detallan a continuación:

- *Fully Balanced Marine Arm* (FBMA): Presentan una estructura simple, usando un contrapeso principal y un subcontrapeso, asegurando el equilibrio completo en todas las posiciones. Pueden ser operados con el apoyo de poco personal, y tienen una estructura fácil de mantener. Como resultado, son el tipo más común de los brazos de carga marinos.
- *Double Counterweight Marine Arms* (DCMA): Utilizan dos contrapesos independientes, así como un pantógrafo para garantizar el equilibrio completo en todas las posiciones. El interior y exterior están equilibrados por separado, resultando la operación y el control, también separada. Además, tiene como característica, que existe una mayor área para el movimiento del contrapeso trasero. Al igual que los RCMA, están equipados con ERC (acoplamiento de liberación de emergencia), acoples hidráulicos, etc. Además el brazo de estos sistemas puede llegar a ser más largo.

- *Rotary Counterweight Marine Arms (RCMA)*: Se utilizan principalmente en medios de carga y descarga para grandes buques cisterna. Estos equipos utilizan un solo contrapeso para equilibrar los brazos tanto en el interior y el exterior al mismo tiempo, y es significativamente más ligero en comparación con los antiguos grandes brazos de carga (DCMA, etc.).



Los principales equipos, piezas y accesorios de los brazos de carga son los siguientes:

- Uniones giratorias: Permiten todo tipo de conexiones flexibles utilizando tuberías rígidas. Generalmente, están hechas de acero al carbono, acero al carbono a baja temperatura, acero inoxidable, titanio y plásticos. Estas uniones

giratorias resisten grandes cargas gracias a la disposición de sus rodamientos con sus cojinetes.

- Línea de retorno de vapor.
- Línea de vapor, el cual es parte de la construcción.
- Sistemas de recuperación de producto, lavado, purga, drenaje, piguado, etc.
- Acoplamiento rápido de conexión/desconexión.
- Acoplamiento de Liberación de Emergencia (ERC).
- Interruptor de vacío.
- Válvula de cierre.
- Brida de aislamiento.
- Enchufe hembra soporte ajustable.
- Aislamiento térmico.
- Escaleras de acceso y plataformas de mantenimiento.

De los accesorios nombrados anteriormente, es necesario profundizar con 2 de ellos:

- **Acoplamiento de conexión/desconexión:** Este acoplamiento es diseñado para conectar los brazos de carga marinos a los manifold de las embarcaciones, sin usar pernos, tuercas o juntas. El acoplamiento es activado por motores hidráulicos con mordazas de sujeción que son similares a abrazaderas “C”.
- **Acoplamiento de liberación de emergencia:** Conocido como ERC (Emergency Release Couplers). Son componentes integrales de la mayoría de sistemas de carga. Detecta rápidamente, a través del sistema de automonitoreo del brazo de carga, las situaciones de emergencia que se avecinan causadas durante el traspaso de hidrocarburo. Este sistema ERC es básicamente un sistema antiderrames que contribuyen a la protección del personal, del medio ambiente y de los sistemas de carga/descarga, siendo una inversión en la seguridad. Su funcionamiento será explicado en el siguiente capítulo.



Figura 2.11. Acoplamiento de conexión de un brazo de carga.

Fuente: <http://www.carbissolutions.com/workplace-safety-products/fluid-handling>

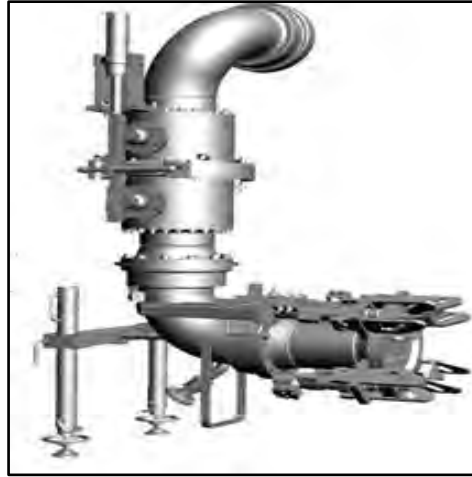


Figura 2.11. Acoplamiento de liberación de emergencia.

Fuente: Brochure de Kanon Loading Equipment.

Los brazos de carga han sido diseñados bajo determinados parámetros, ya sean de movimiento, mecánicos, instrumentación o hidráulicos, por lo que a continuación se mencionan algunas características generales de estos sistemas, tanto en el diseño como en la operación:

- Los brazos de carga presentan una base, la cual se conecta a un depósito de fluido, en la que se monta una primera tubería, a través de una parte de tubo que posee un codo de 90° que permite rotar un extremo alrededor de su eje vertical, mientras que el otro extremo gira alrededor de su eje horizontal. Hay un acoplamiento montado en el extremo de una tubería.
- Los brazos de carga cuyo diámetro sea hasta de 10" y 50 pies (15 metros) de longitud, pueden ser operados manualmente, de lo contrario la operación será hidráulica.
- Las operaciones hidráulicas requieren de una unidad de potencia hidráulica. Los cilindros hidráulicos de un brazo de carga deben ser 3 como mínimo, uno de giro (el cual permite mover el brazo de derecha a izquierda y viceversa), uno en el tubo interno (se maniobra el tubo interno hacia adelante o hacia atrás) y uno en el tubo externo (se maniobra el tubo externo hacia abajo o hacia arriba).
- El acoplamiento de estos, presenta 3 grados de libertad en su base fija donde estos están soportados, de modo que los movimientos de cada grado de libertad se llevan a cabo por actuadores hidráulicos independientes.
- Los brazos de carga son implementados de sensores de posición (al menos uno es un sensor angular), que hacen seguimiento de cada grado de libertad del brazo de carga. Además, todo el movimiento es controlado por el operario mediante un interfaz donde se controla cada uno de los actuadores, el acoplamiento, entre otros.

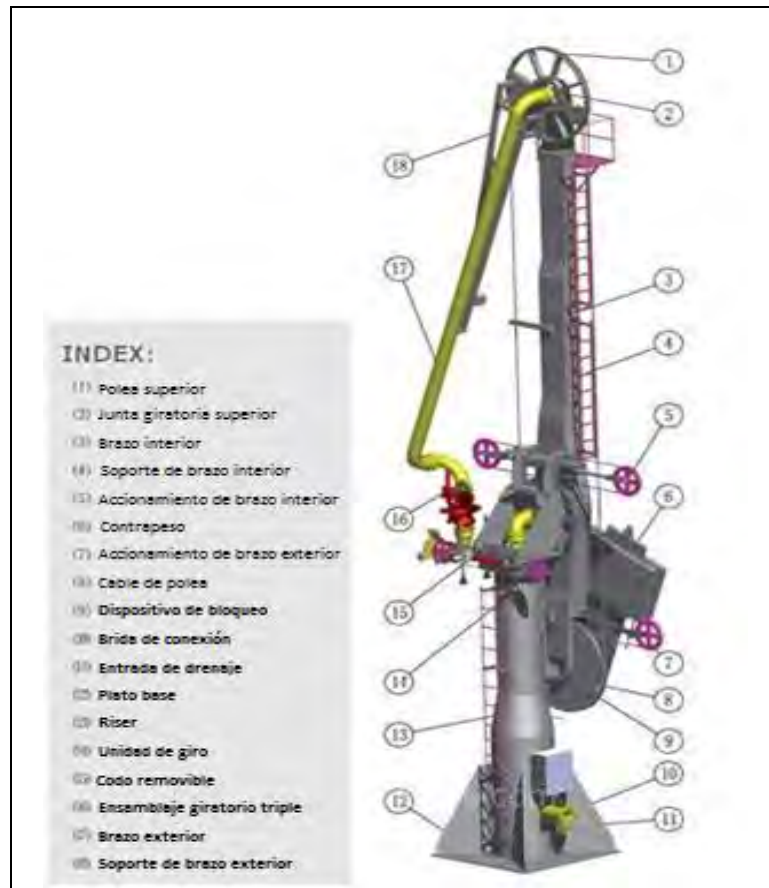


Figura 2.12. Partes de un brazo de carga

Fuente: http://kfloat.com/contents/product/product06.php?sm=2_6

2.4. Sistema de bombeo

Son todos aquellos equipos, ya sean hidráulicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos que intervienen en la operación y control de los parámetros utilizados para el intercambio de energía con un fluido por medio de equipos de bombeo, con el fin de transportar un líquido desde un lugar a otro.

Los sistemas de bombeo son utilizados frecuentemente para los siguientes propósitos:

- Remover fluidos desde una fuente, ya sea un río, pozos, tanques, reservorios, entre otros.
- Hacer circular un fluido a través de un sistema de distribución.
- Mantener la presión en un sistema de distribución.
- Transporte de productos petroquímicos.

Un sistema de bombeo está compuesto por:

- Las estaciones de bombeo.
- El sistema hidráulico: las bombas y las tuberías conexas.

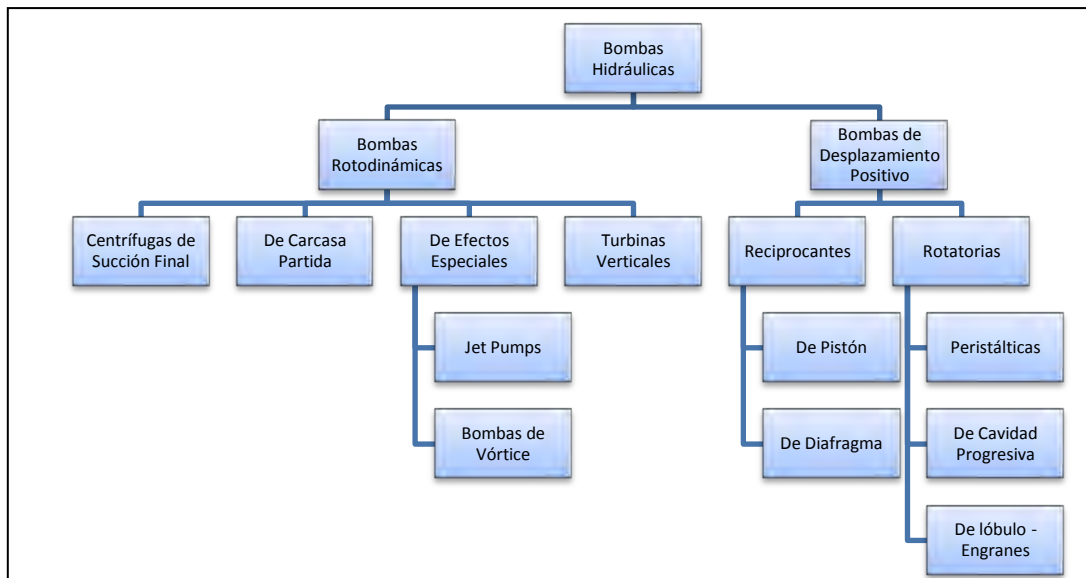
- El sistema eléctrico: el motor, turbina y sus componentes relacionados.
- El sistema de control: interruptores y sensores de presión, flujo y nivel.

2.4.1. Bombas

Es una máquina hidráulica que intercambia energía con el fluido, absorbiendo su energía mecánica y devolviendo energía hidráulica, de modo que se genera un flujo con la suficiente energía para superar la presión inducida por la carga.

⁶Las bombas realizan 2 funciones, las cuales son la succión y la descarga, ya que primero la bomba por su acción mecánica crea un vacío en la entrada de la bomba que permite llevar el líquido desde un depósito hasta la tubería de entrada de la bomba. La segunda función, es llevar el fluido hacia la salida de la bomba, para luego ser transportado por el sistema hidráulico. Se debe tomar en cuenta que una bomba produce el movimiento de un fluido mas no se encarga de generar presión.

Esquema 2.1. *Clasificación de bombas hidráulicas*



Fuente: Elaborado por autor.

En Operaciones Oleoducto, sólo se utilizan dos tipos de bombas, que son las bombas centrífugas y las bombas de capacidad progresiva del tipo tornillo.

2.4.1.1. Bombas centrífugas

⁷Son las bombas de energía cinética más utilizadas. La fuerza centrífuga empuja el líquido hacia fuera, desde el ojo del impulsor. Básicamente, su funcionamiento se da por el ingreso de un fluido a la bomba, y que por efecto de la fuerza centrífuga de un rodete lo lleva hasta la salida de la bomba, después de haber aumentado la velocidad y presión del flujo.

⁶<http://sealandcylinder.com/2014/12/10/fundamentals-of-hydraulic-pumps/>

⁷ http://petrowiki.org/Centrifugal_pumps

Los principales componentes de una bomba centrífuga son:

- Rodete, es el componente principal de la bomba centrífuga, ya que sólo aquí se produce el intercambio de energía, a través de sus álabes. Este rodete puede ser cerrado de simple y doble aspiración, semi-abierto de simple aspiración y abierto de doble aspiración.
- Corona directriz, es un elemento que posee álabes fijos, que se encargan de guiar el flujo desde el rodete a la voluta. Asimismo, reduce las pérdidas y transforma energía cinética en energía de presión.
- Voluta, también conocida como caja espiral. Transforma la energía cinética en energía de presión.
- Tubo troncocónico difusor, es un componente a la salida de la voluta y que convierte la energía dinámica o cinética en energía de presión.
- Anillos de desgaste, estoperas, sellos mecánicos, etc.

Las bombas centrífugas se dividen en 3 tipos, que depende de su configuración:

- De succión final, son las más comunes y donde el centro de la línea de succión se encuentra en el ojo del rodete.
- De carcasa partida, es una bomba, cuyo diseño tiene a la carcasa de la bomba partido horizontalmente, a la altura del ojo del rodete. Son utilizadas en servicios contra incendio y para circulación de flujo en comunidades medianas a grandes.
- De turbina vertical, es un tipo de bomba que está montada sobre un eje vertical y donde el motor esta comúnmente montada sobre el motor. Son dispositivos de flujo axial y mixto.

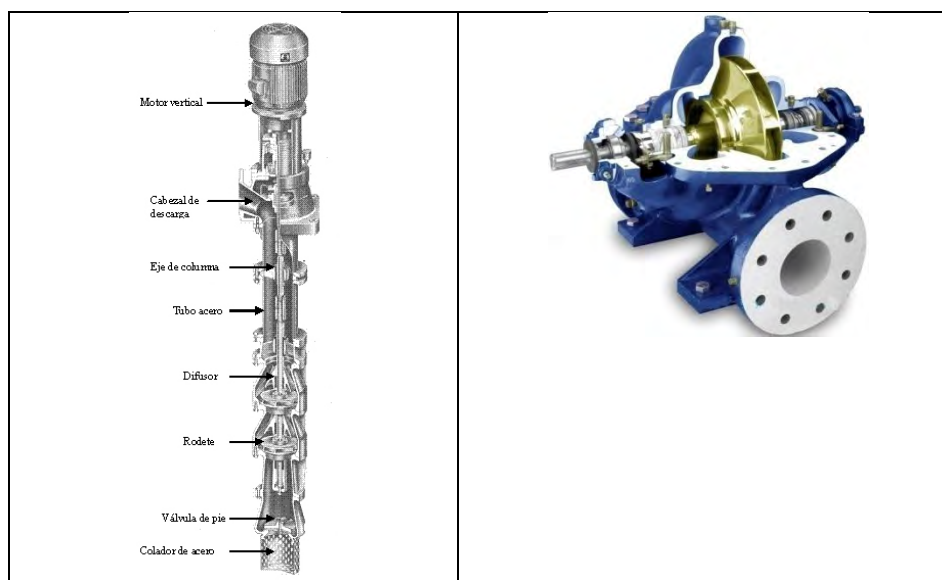


Figura 2.13. Bomba de turbina vertical (izquierda) y carcasa partida (derecha).

Fuente: <http://semamcoin.com/diferencias-entre-equipos-de-bombeo/>



Figura 2.14. Bomba centrífuga de succión final.

Fuente: <http://www.reporteroindustrial.com/producto-descripcion/Bomba-centrifuga-de-succion-final+Showroom11137790821>

2.4.1.2. Bombas rotatorias: tipo tornillo

Es una máquina de desplazamiento positivo, cuyos elementos que producen el cambio de energía mecánica a energía cinética son uno o más tornillos sinfín.

Una bomba de tornillo opera bajo el principio básico de un tornillo girando para aislar un volumen de fluido y transportarlo. Sin embargo, hay diferentes diseños mecánicos para una bomba, dependiendo de cómo el rotor o elemento de bombeo se apoya dentro de la carcasa.

Estos tornillos se engranan, de manera que empujan el fluido hacia la salida de la bomba, mientras aumenta su presión. Las bombas de tornillo pueden ser:

- Bombas de un solo tornillo: También conocida como bomba de cavidad progresiva. Su único tornillo gira dentro de un estator estacionario y típicamente elastomérico (polímeros elásticos sólidos). Las vueltas que da el rotor junto sellan un volumen determinado del fluido por contacto directo con el estator, ya que éste tiene la forma de la superficie exterior del tornillo. Cuando se utilizan este tipo de bombas, se debe considerar la compatibilidad química y la temperatura del estator junto con los parámetros de aplicación. Estas bombas, además son muy eficaces en aplicaciones de alta presión.
- Bombas de tornillo doble: Estas bombas poseen dos ejes o rotores. Sin embargo, una bomba de dos tornillos también se puede considerar una bomba de cuatro tornillos si es un diseño de doble aspiración. El rotor y la carcasa son de metal, además en este diseño, los elementos de bombeo están soportados por cojinetes en cada extremo del eje.
- Bombas de tornillo triple: Opera también sobre el principio de tres tornillos sinfín engranados y también se puede configurar como una bomba de succión doble, lo que sería técnicamente, una bomba con seis tornillos. Su diseño está basado en el uso de un tornillo principal (rotor de alimentación), el cual se encuentra centrado; y dos tornillos secundarios o rotores locos, uno al extremo

del otro. En una bomba de este tipo, mientras se encuentra en funcionamiento, el tornillo principal crea una fina película de fluido a su alrededor. Estas bombas llegan a tener una presión de descarga mayor que la de tornillo doble, por lo que llega a bombear fluidos más viscosos y/o pesados.

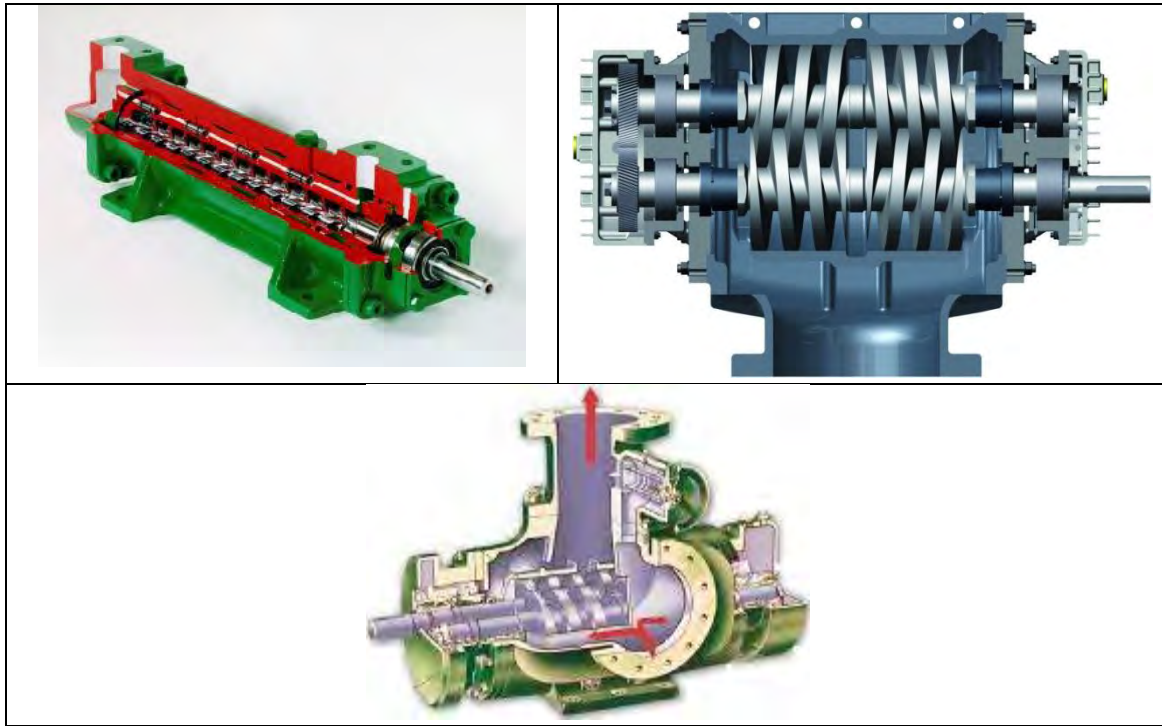


Figura 2.15. Bomba tornillo simple, doble tornillo y triple tornillo.

Fuente: http://www.lubosa.com.mx/productos_por_linea.php?id_linea=C01&filtro=Bombas%20de%20Dos%20Tornillos

Algunas notas sobre bombas:

- Cuando el flujo aumenta, la presión de descarga disminuye, y viceversa.
- No se debe permitir trabajar a una bomba cuando no hay un flujo.
- Se recomienda usar medidores de presión.
- Se recomienda usar bombas multietapas, para distancias largas.
- Se debe evitar cierres de válvulas o paros de bombeo repentinos, para así evitar el golpe de ariete.
- Se debe considerar que las curvas de funcionamiento de una bomba centrífuga, provenientes de fábrica, toman como fluido agua, por lo que si se trabaja con fluidos de diferente viscosidad, se deben convertir estas curvas de funcionamiento.

2.4.1.3. Curva de operación de bombas

Las bombas trabajan de acuerdo a parámetros de diseño de fabricante. Algunas bombas pueden presentar características distintas entre una y otra, es decir, algunas pueden bombear mayores o menores caudales, a mayor o menor carga, a diferentes velocidades y con distintas potencias. Para ello, toda bomba presenta sus curvas de

operación donde se pueden observar los principales parámetros para la selección de una bomba, de acuerdo a cada necesidad. Los parámetros mostrados, son los siguientes:

- Altura o cabeza (H), también llamado carga estática. Es la altura a la que un fluido puede llegar a ser bombeado. Normalmente se mide en metro de columna del fluido. Para calcular la altura a la que puede bombearse un fluido, las pérdidas por fricción en la bomba y la tubería, la presión y la velocidad, son expresados en términos de altura. Es así que se toma en cuenta la altura geométrica (diferencia entre la cota de descarga y la cota de succión), las pérdidas por rozamiento, altura de velocidad, altura manométrica total.
- Caudal (Q), es el volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo.
- Potencia, normalmente, expresada en caballos de fuerza o kilowatts, se obtiene a partir de:

$$Potencia\ Teórica = Q \times H \times \rho \times g \quad [2.10]$$

$$Potencia\ Real = \frac{Potencia\ Teórica}{\eta} \quad [2.11]$$

- Eficiencia (η), indica el grado de pérdidas de carga en la bomba y el sistema de bombeo. Estas pérdidas pueden ser hidráulicas, volumétricas y mecánicas, de modo que a partir de ellas se obtienen las eficiencias hidráulicas, volumétricas e internas, siendo la eficiencia total, el producto de las anteriores.
- Required net positive suction head (NPSHR), es la máxima altura entre la presión de succión y la presión de vapor del fluido, de modo que la bomba opere apropiadamente, sin que llegue a cavitarse.

En la figura 2.16 se muestra un modelo de curva de operación de una bomba centrífuga:

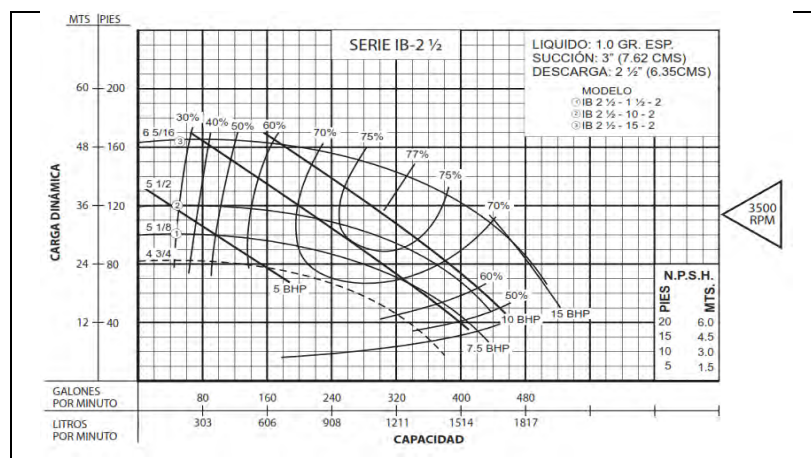


Figura 2.16. Curva de operación de una bomba centrífuga.

Fuente: <http://hidroserviciosambientales.com/ib2-1-2-10-2>.

Hay que considerar que las curvas de operación emitidas desde fábrica, toman como fluido a bombear el agua.

Normalmente, las curvas de operación de bombas de tornillo o de bombas de gran potencia sólo toman en cuenta 2 parámetros: altura y presión de descarga, como se muestra en figura 2.17.

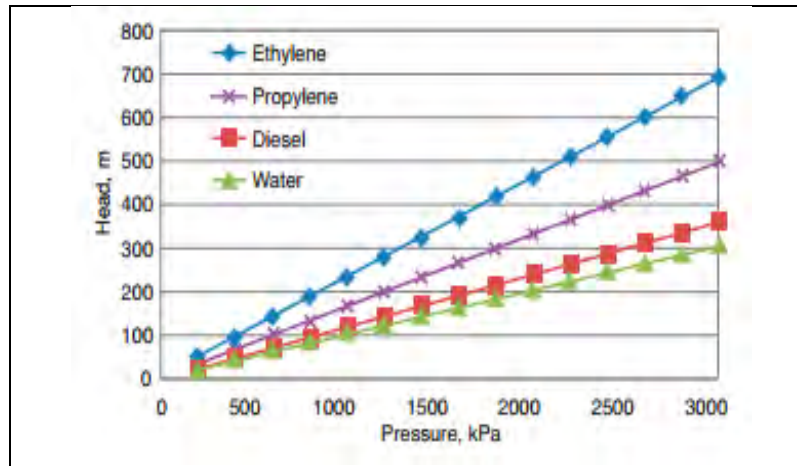


Figura 2.17. Curva de operación de una bomba tipo tornillo.

Fuente: Informes técnicos. Petroperú S.A.

2.4.2. Curva característica de la instalación

Es una curva cuya abscisa es el caudal mientras que la ordenada es la altura o cabeza. Es la representación de la altura en función del caudal.

Para ello primero se hablará de las pérdidas exteriores a la bomba, las cuales se clasifican en pérdidas primarias y pérdidas secundarias:

- **Pérdidas exteriores primarias:** Toma en cuenta el diámetro y longitud de la tubería, así como el material de ésta y por supuesto, el caudal influye en el cálculo estas pérdidas.

$$H_{\text{perd. primarias}} = \frac{8\lambda L}{\pi g D^5} Q^2 \quad [2.12]$$

Donde " λ ", es el factor de Darcy, obtenido a partir del Diagrama de Moody y el número de Reynolds. También puede ser obtenida, a partir de la ecuación de Colebrook.

- **Pérdidas exteriores secundarias:** Estas pérdidas toman en cuenta la forma de la tubería o red de tuberías y los accesorios que conforman esta red. Accesorios como codos, "tees", válvulas, reducciones, etc. Por lo general las pérdidas secundarias son mucho menores a las perdidas primarias.

$$H_{\text{perd. secundarias}} = \frac{8\zeta}{\pi g D^4} Q^2 \quad [2.13]$$

Donde " ζ ", es la suma de factores de cada uno de los accesorios que conforman la red de instalación.

Es así que la curva de instalación, es la representación de la siguiente ecuación:

$$H = \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + z_1 - z_2 \right) + \underbrace{H_{\text{pérdidas succión}} + H_{\text{pérdidas descarga}}}_{\text{Función del caudal}} = f(Q)$$

Donde el subíndice 1 se refiere al depósito de succión y el subíndice 2 se refiere al depósito de descarga, y estos términos son independientes del caudal y es el punto de origen de la curva de instalación, que se observa en la ⁸figura 2.18, y en la cual se muestran algunas curvas de instalación, de acuerdo a la disposición de la red de tuberías y de la bomba.

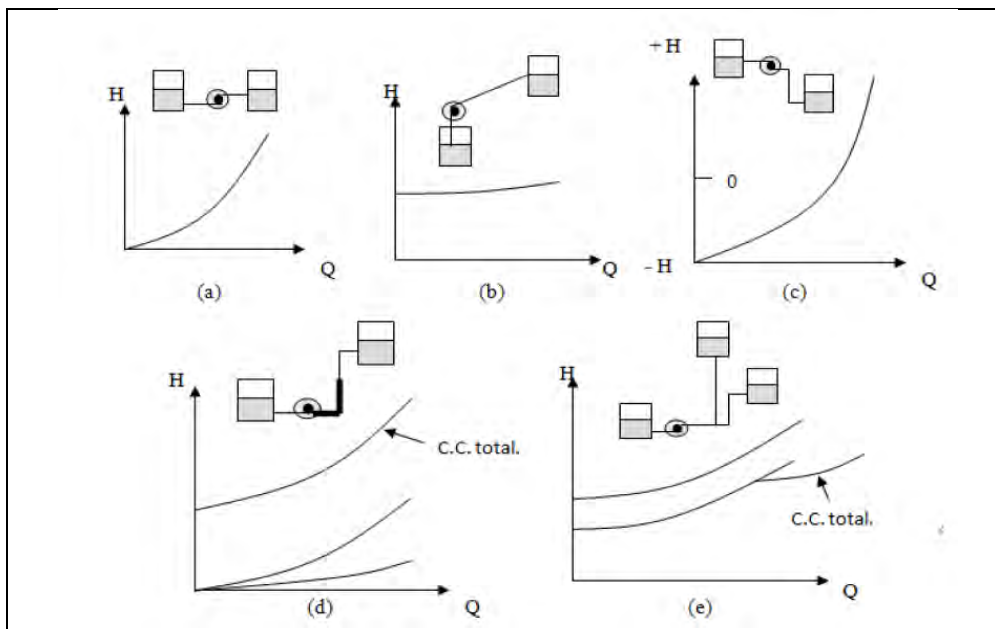


Figura 2.18. Curvas de instalación de diferentes redes de bombeo.

Fuente: Máquinas hidráulicas: bombas centrífugas. Daniel Marcelo Aldana.

2.4.3. Punto de funcionamiento

Es la intersección entre la curva característica de la instalación y la curva de operación de la bomba, refiriéndonos a las curvas “Altura vs Caudal”, como se observa en la figura 2.19.

⁸Curso Máquinas Hidráulicas. Ing. Daniel Marcelo Aldana. Universidad de Piura.

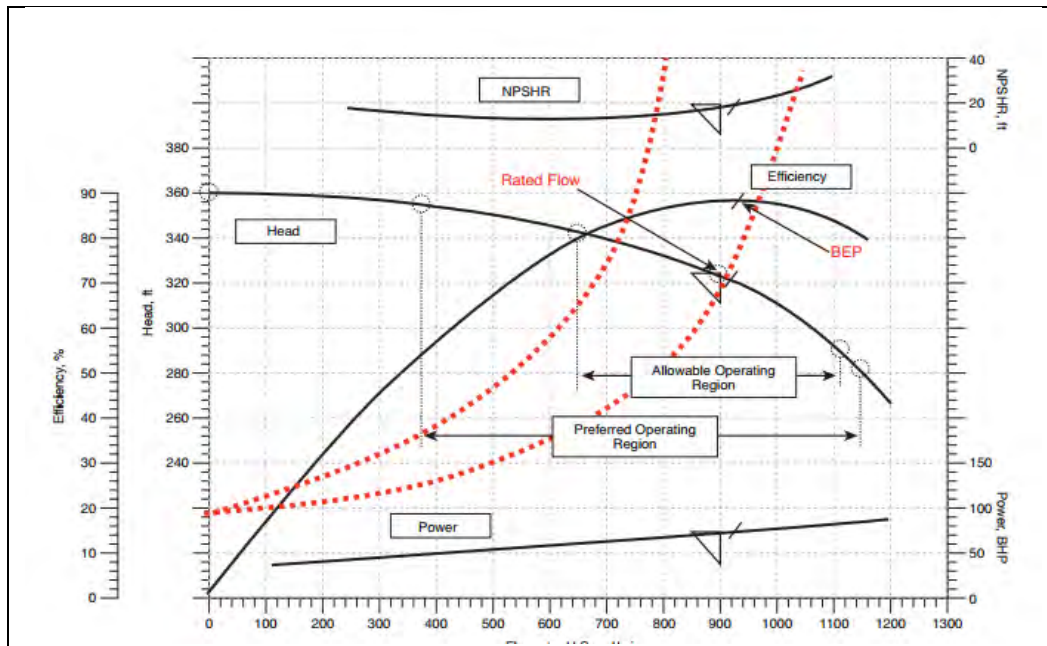


Figura 2.19. Punto de funcionamiento de un sistema de bombeo.

Fuente: https://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/Teo8_09_b.pdf

2.4.4. Principales problemas en bombas

2.4.4.1. Cavitación

Es definido como el proceso de formación de vapor de un líquido cuando éste está sometido a una reducción de presión en un ambiente, a temperatura constante. Es decir, dentro del fluido comienzan a formarse burbujas de vapor, que van creciendo conforme se reduzca la presión hasta llegar a la presión de vapor del fluido, lo cual es perjudicial para la bomba, causando daños dentro de la bomba (rodete, caja espiral, etc), como se observa en la figura 2.20.



Figura 2.20. Consecuencias de cavitación producida en un rodete.

Fuente: <https://de.slideshare.net/briangongol/nps-h-and-pump-cavitation>.

2.4.4.2. Golpe de ariete

Es un fenómeno que se produce en cualquier sistema de bombeo, en el cual se experimenta un cambio abrupto de la velocidad del flujo. Normalmente, se origina por arranques y paradas intempestivas en la bomba, apertura y cierre de válvulas o separación y cierre de la columna de agua. Por lo tanto, toda la columna del fluido sufre un cambio de momento, produciéndose ondas de choque que viajan de ida y de vuelta entre la barrera que lo creó y una barrera secundaria. Si esta onda es de alta intensidad, puede llegar a dañar las válvulas del sistema de bombeo, así como la bomba.

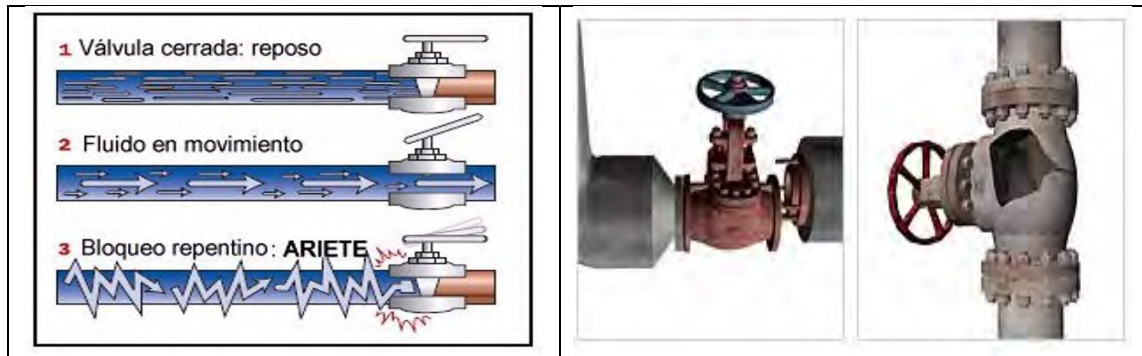


Figura 2.21. Golpe de ariete y consecuencia.

Fuente: <http://larocamadrehg.blogspot.pe/2013/03/golpe-de-ariete-o-pulso-de-zhukowski.html>.

Capítulo 3

Alternativas y selección de brazos de carga

3.1. Introducción

En este capítulo se presentará algunas alternativas de los sistemas de brazo de carga/descarga, y además se procederá a la selección de la mejor opción, tomando en cuenta los equipos con los que cuenta Petroperú actualmente, el tipo de embarcaciones que arriban a la zona de Pontones de la Estación 1, dimensionando cada uno de estos pontones y recibiendo cotizaciones de empresas dedicadas a éste tipo de trabajos, de modo que se consiga un sistema de descarga muy eficiente y de un buen costo económico.

Se evaluarán las alternativas propuestas, debiendo éstas poder operar con todas las embarcaciones que llegan a esta zona, tomando en cuenta la altura y la posición del manifold de estas embarcaciones, para así poder elegir correctamente desde el punto de vista operativo.

Además del brazo de carga/descarga, también se procederá a la selección del mejor mecanismo de ERC (Emergency Release Coupling), el cual se ha visto en el capítulo anterior, para evitar en lo posible que se produzca un derrame, normalmente en las conexiones, afectando al personal presente y al medio ambiente. Por tanto, en la evaluación de los brazos propuestos por cada proveedor, también se evaluará su sistema anti derrames, y a partir de ello se procederá a la evaluación económica. Es decir, en esta selección, la evaluación técnica será más importante que la evaluación económica.

3.2. Equipos de bombeo y embarcaciones actuales

Como se ha explicado anteriormente, la zona de pontones de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano, es una zona de descarga de crudo explotado por empresas privadas (Perenco, Cepsa, etc) y que proviene de los pozos petroleros de estos, distribuidos en diferentes sitios de la selva amazónica. Debido a la geografía del terreno en la selva, la única alternativa para transportar el crudo hasta el oleoducto, es por vía fluvial, a través de barcasas.

Son diferentes barcasas que arriban a la zona de pontones, que descargan diferentes tipos de crudo (pesados y livianos). Hasta ahora esta descarga se ha realizado mediante mangueras que son conectadas manualmente por el personal operativo de Petroperú de Estación 1.

Una vez conectada la manguera, se utilizan bombas centrífugas que poseen la presión de succión y de descarga adecuada, para transportar el crudo desde las barcasas hasta los tanques de almacenamiento.

Cada tanque de almacenamiento ha sido diseñado para diferentes tipos de crudo, es decir, existen tanques que tienen mayor capacidad de almacenamiento (Residual, Iquitos, etc) y hay otros de menor capacidad (Los Ángeles), debido a la producción que hay de cada crudo.

3.2.1. Datos de los pontones

Actualmente, la Estación 1 cuenta con 3 pontones: Pontón 2, Pontón 3 y Pontón 4, ya que el Pontón 1 quedo inhabilitado, por las fuertes corrientes del río Marañón. Cada uno de estos pontones cuenta con 3 defensas (aguas arriba, medio, aguas abajo), donde se estacionan las embarcaciones para posteriormente cargar o descargar hidrocarburo. Cada pontón se encuentra espaciado 180 metros.

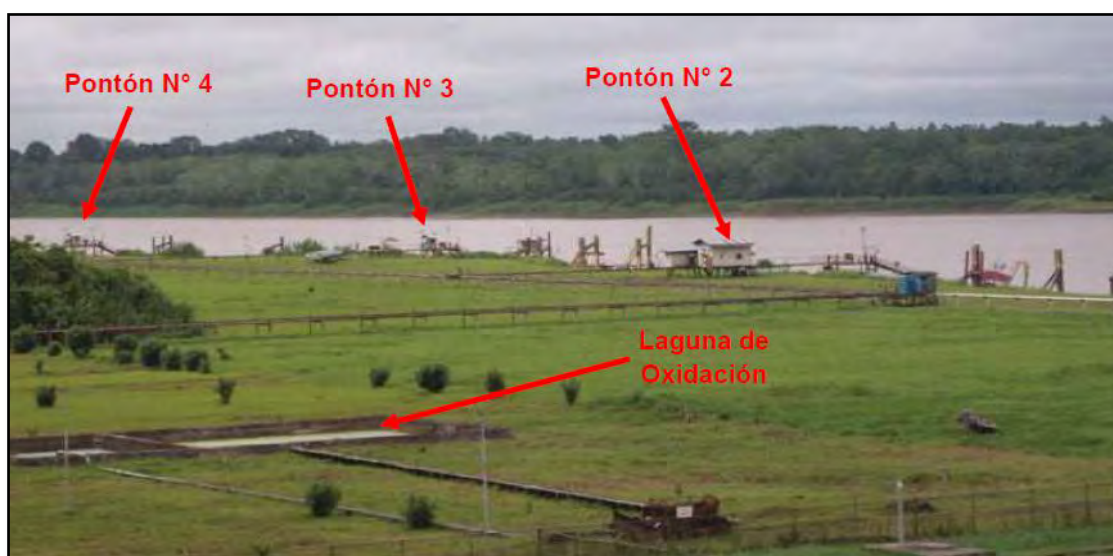


Figura 3.1. Zona Pontones de la Estación 1 del ONP.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

3.2.1.1. Pontón N°2

Es una plataforma flotante, de 7.4 m. x 19.4 m. de largo (149.56 m^2). Sobre ésta se encuentra un tinglado de 5.35 m x 5.65 m (30.2 m^2), que se encuentra apoyado sobre tuberías de 4 pulgadas. Este pontón cuenta con una escalera de acceso metálica con rejillas de fierro y barandas de fierro de 3" y 2 ¼" de diámetro de 14.5 metros de longitud.

Sobre esta plataforma se encuentra el sistema de bombeo, además de las líneas de conexión de 8" de diámetro, para la succión y descarga. Es por debajo del pontón que se encuentra una tubería de 8", donde se conecta la manguera de descarga de crudo. Esta tubería a su vez está conectada a un manifold de las líneas N° 2 (embarque de barcas) y N°3 (descarga de barcas); estas líneas a su vez se conectan al manifold de válvulas motorizadas de la zona industrial.

Cuando arriban barcasas con diésel 2, esta descarga (no es habitual) se realiza a través del Pontón 2, de modo que se utiliza una electrobomba que traslada este fluido hasta el Tanque 1D10 de la zona de almacenamiento.

Este pontón a su vez cuenta con:

- Sala de control.
- Laboratorio de muestras de crudo.
- Sistema de espuma.



Figura 3.2. Pontón N° 2 de la Estación 1 del ONP.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

3.2.1.2. Pontón N°3

Plataforma flotante de 7.35 m. x 17.15 m. de largo (126 m^2), que en su superficie cuenta con un tinglado con techo de calamina galvanizada, soportada sobre 4 tuberías de 4 pulgadas de diámetro, de 5.65 m. x 5.20 m. (29.4 m^2). Este pontón cuenta con una escalera de acceso metálica con rejillas de fierro y barandas de fierro de 3" y 2 1/4" de diámetro de 16.6 metros de longitud.

Este pontón posee un sistema de bombeo, similar al del pontón 2, y a su vez cuenta con:

- Garita de vigilancia.
- Sistema de espuma.

A continuación se muestra en la figura 3.3, una vista del pontón 3.



Figura 3.3. Pontón 3 de la Estación 1 del ONP.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

3.2.1.3. Pontón N°4

Es una plataforma flotante de acero de 19.50 m x 7.50 m (146.25 m^2), que en su superficie cuenta con un tinglado con techo de calamina galvanizada, soportada sobre 4 tuberías de 4 pulgadas de diámetro, de 5 m. x 5 m. (29.4 m^2). Este pontón cuenta con una escalera de acceso metálica con rejillas de fierro y barandas de fierro de 3" y 2 1/4" de diámetro de 14 metros de longitud.

Este pontón posee un sistema de bombeo, similar al de los pontones 2 y 3, y a su vez cuenta con:

- Garita de vigilancia.
- Sistema de espuma.

A continuación se muestra en la figura 3.4, una vista del pontón 4.



Figura 3.4. Pontón 4 de la Estación 1 del ONP.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú

3.2.2. Datos de los equipos de bombeo

En la zona de pontones, actualmente existen 3 pontones: Pontón 2, Pontón 3 y Pontón 4. En cada uno de estos pontones se utiliza el mismo equipo de bombeo, conformado por motor – caja reductora – bomba, las cuales son de la misma marca y de la misma capacidad. A continuación se muestra la tabla 3.1 de los equipos utilizados.

Tabla 3.1. Bomba para carga y descarga de crudo.

Equipos Principales	Marca	Datos Nominales
Motor de Combustión Interna	SCANIA – WAUKESHA	150 HP; 1200 RPM
Bomba de Tornillo	IMO PUMP	179 BHP; 930 RPM
Caja Reductora	COTTAR	Relación Reducción = 1.3

Elaborado por: Autor.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

Cuando se empieza el bombeo a determinado tanque, se enciende el motor Waukesha y se deja que trabaje aproximadamente 4 minutos, en vacío, de modo que el motor caliente y lubrique sus accesorios. Esto se hace cuando el motor ha dejado de trabajar por un periodo de tiempo considerable.

Después de haber controlado la velocidad inicial del motor, se acopla con la bomba IMO, disminuyendo la velocidad del motor, debido a que asume la carga de la bomba. Esta disminución de la velocidad depende del tipo de crudo que se está

bombeando (liviano o pesado). Una vez acoplada la bomba, se llevará el motor hasta 1200 revoluciones por minuto.

Los parámetros operativos promedios para la recepción de crudo se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. *Parámetros mínimos de operación para descarga y embarque de crudo.*

Parámetros Operativos del Sistema de Bombeo	Valor
Presión de succión	5 PSI ó 0.3 Kg/cm ²
Presión de descarga	40 PSI ó 2.81 Kg/cm ²
Velocidad de funcionamiento del motor	1000 – 1200 RPM

Elaborado por: Autor.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

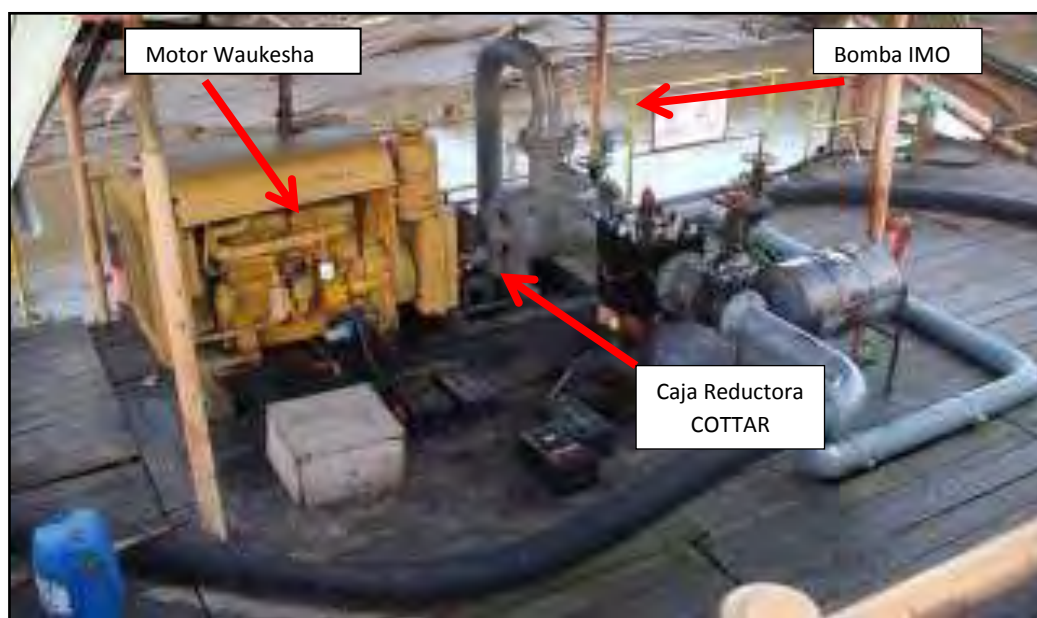


Figura 3.5. Equipo de bombeo de cada pontón de la Estación 1 del ONP.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú

3.2.3. Zona de manifold de válvulas motorizadas para tanques de crudo

En la Estación 1, existen redes de tuberías por las cuales se realizan transferencias de crudo entre uno y otro tanque, para la recepción de crudo, para el embarque de crudo, etc. Es así que el sistema colector de tanques de almacenamiento, cuenta con 30 válvulas motorizadas (MOV's) que según su apertura o cierre permiten los siguientes traslados de crudo:

Tabla 3.3. *Válvulas motorizadas para traslado de crudo de tanques.*

Válvulas Motorizadas	Traslado de Crudo
1MOV56, 1MOV57, 1MOV58, 1MOV63, 1MOV76	Bombeo de crudo a Estación 5
1MOV53, 1MOV54, 1MOV55, 1MOV64, 1MOV75	Embarque a pontones
1MOV59, 1MOV60, 1MOV61, 1MOV62, 1MOV74	Transferencia entre tanques
1MOV50, 1MOV51, 1MOV52, 1MOV65, 1MOV73	Recepción crudo ⁹ TrompeterosLiviano
1MOV66, 1MOV72, 1MOV81, 1MOV82, 1MOV83	Recepción de crudo Trompeteros Pesado
1MOV67, 1MOV71, 1MOV101, 1MOV102, 1MOV103	Descarga en pontones

Elaborado por: Autor.**Fuente:** Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

Estas válvulas, poseen componentes electromecánicos que permiten abrirlas o cerrarlas. Sin embargo, su operación es manual. Es así que su apertura o cierre, sólo puede observarse a través de los sistemas SCADA.

3.2.4. Embarcaciones y tipos de crudo

Los tipos de crudo transportados en los últimos años, se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. *Empresas privadas, tipos de crudo y barcazas.*

Siglas	Crudo	Empresa	Barcaza
RMAQ	Residual Iquitos	Petroperú	Curaray 2
RYPL	Yanayacu	Pluspetrol	Kenia
RPER	Piraña	Perenco	Curaray 7
RCEP	Los Ángeles (Cepsa)	Petroperú	Morona

Elaborado por: Autor.**Fuente:** Departamento de Operaciones – Petroperú.

⁹ Este crudo no llega a través de barcazas, sino a través de un pequeño oleoducto.

3.3. Recepción de crudo

Los diferentes tipos de crudo, son descargados bajo los siguientes parámetros:

Tabla 3.5. *Datos de operación en descarga de crudo a zona de tanques.*

Operación	Caudal (Bls/Hrs.)	Tiempo de Descarga (Hrs.)	Viscosidad @ 40°C		API
			máx	min	
RMAQ	840	18.7	389.72	251.81	22.8
RYPL	383.15	7.1	320.40	296.94	22.8
RPER	454.34	20.62	212.39	191.24	20.8
RCEP	667.52	14.75	3.649	2.005	44

Elaborado por: Autor.

Fuente: Departamento de Operaciones – Petroperú.

3.3.1. Recepción de crudo Piraña

El crudo Piraña, como se ha visto en la tabla 3.5, es un crudo extraído por la compañía Perenco. Este crudo se considera como un crudo pesado de modo que tiene un grado API 20.8. Este crudo, una vez descargado, es almacenado en el tanque 1D3 (115 MB de capacidad operativa). La barcaza Curaray 7, es la encargada de transportar este crudo hasta la zona de pontones.

Para la recepción de crudo se tienen que cumplir cierto procedimiento:

- Desde el Departamento de Operaciones de Oleoducto – oficinas Piura, se envía el plan operativo diario, aprobado por el jefe de departamento.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en el tanque 1D3.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en los tanques de la barcaza acoderada en el pontón.
- Se prepara el equipo de bombeo necesario.
- Se coordinan las acciones con la compañía Perenco.
- Posteriormente se alinean válvulas, de modo que la línea 3 quede habilitada para trasladar el crudo hasta el tanque 1D3.
- Si el crudo Piraña es descargado en pontón N° 2, se realizan las siguientes acciones:
 - Se abren manualmente las válvulas V6-P2 y V5-P2, las cuales forman parte de la succión y la descarga de la bomba IMO. También se abren las válvulas V1-P2 y V3-P2, las cuales conectan la tubería del pontón hasta la línea 3 del sistema de tuberías de la zona de tanques.
 - Se cierran las válvulas V4-P2 (by pass de la bomba), V2-P2, de modo que la tubería del pontón no se conecte con la línea 2 del sistema de tuberías. Además, se cierra la válvula V-26, para evitar que la línea 3 se conecte con la línea 1. Es decir, sólo la línea 3 queda aislada para el traslado de crudo Piraña al tanque 1D3.

- Si el crudo Piraña es descargado en el Pontón N°3, se realizan las siguientes acciones:
 - Se abren las válvulas V6-P3, V5-P3, las cuales permiten el paso de crudo en la succión y la descarga de la bomba IMO. También se abren las válvulas V1-P3 y V3-P3, de modo que se conecte la tubería del Pontón 3 con la línea 3 del sistema de tuberías de la zona de tanques.
 - Se cierran las válvulas V4-P3 (by pass de la bomba), V2-P2 y V-26, de modo que se aísla la línea 3, para el traslado de crudo Piraña al tanque 1D3.

- Si el crudo Piraña es descargado en el Pontón N°4, se realizan las siguientes acciones:
 - Se abren las válvulas V6-P4, V5-P4, las cuales permiten el paso de crudo en la succión y la descarga de la bomba IMO. También se abren las válvulas V1-P4 y V3-P4, de modo que se conecta la tubería del Pontón 4 con la línea 3 del sistema de tuberías de la zona de tanques.
 - Se cierran las válvulas V4-P4 (by pass de la bomba), V2-P2 y V-26, de modo que se aísla la línea 3, para el traslado de crudo Piraña al tanque 1D3.

- Habiendo llegado el crudo a la línea 3, se abre la válvula V-11 y se cierran las válvulas V-10, V-13 y V-15, de modo que el crudo se dirige hacia las válvulas motorizadas de recepción 1MOV101, 1MOV102, 1MOV103, 1MOV71 y 1MOV67. Sin embargo, la única válvula MOV abierta será 1MOV103.
- Una vez, verificado el cierre y apertura de las válvulas, se procede a la descarga de este crudo.
- En las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se observa la línea de descarga del crudo Piraña, suponiendo que se descarga desde el Pontón N°2.

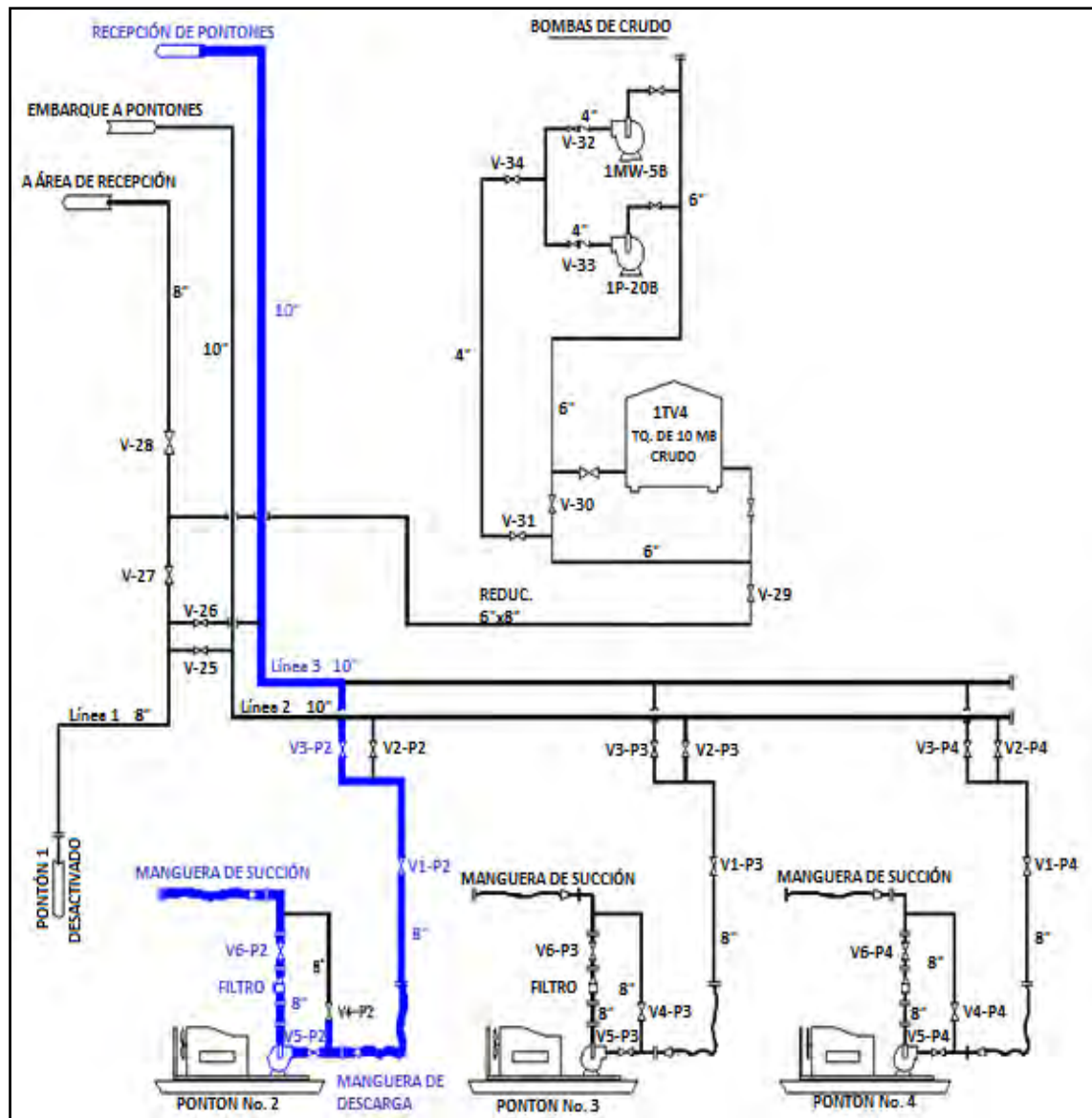


Figura 3.6. Recepción de crudo Piraña por tubería de Pontón 2.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

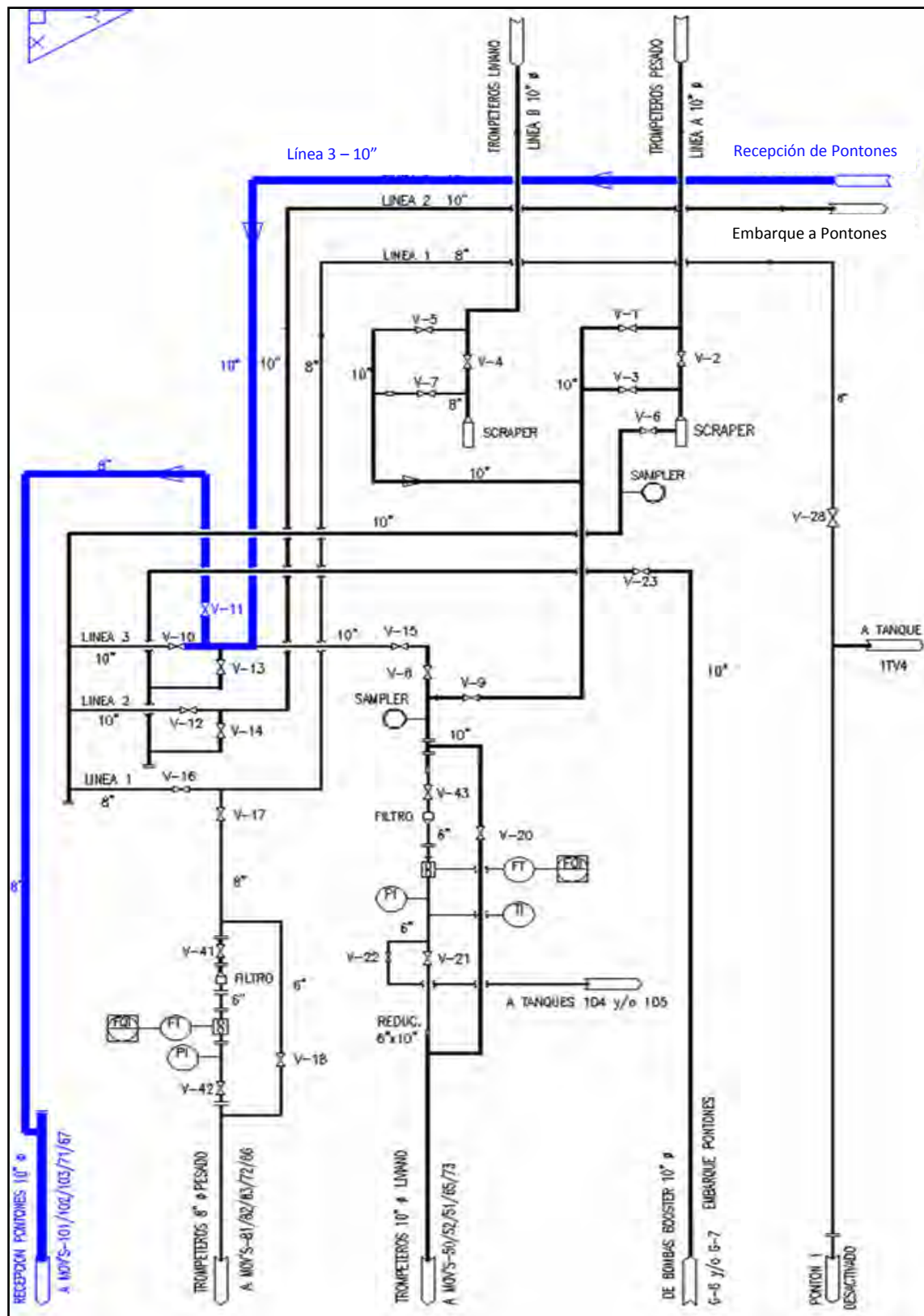


Figura 3.7. Recepción de crudo Piraña por línea 3 de sistema de tuberías.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

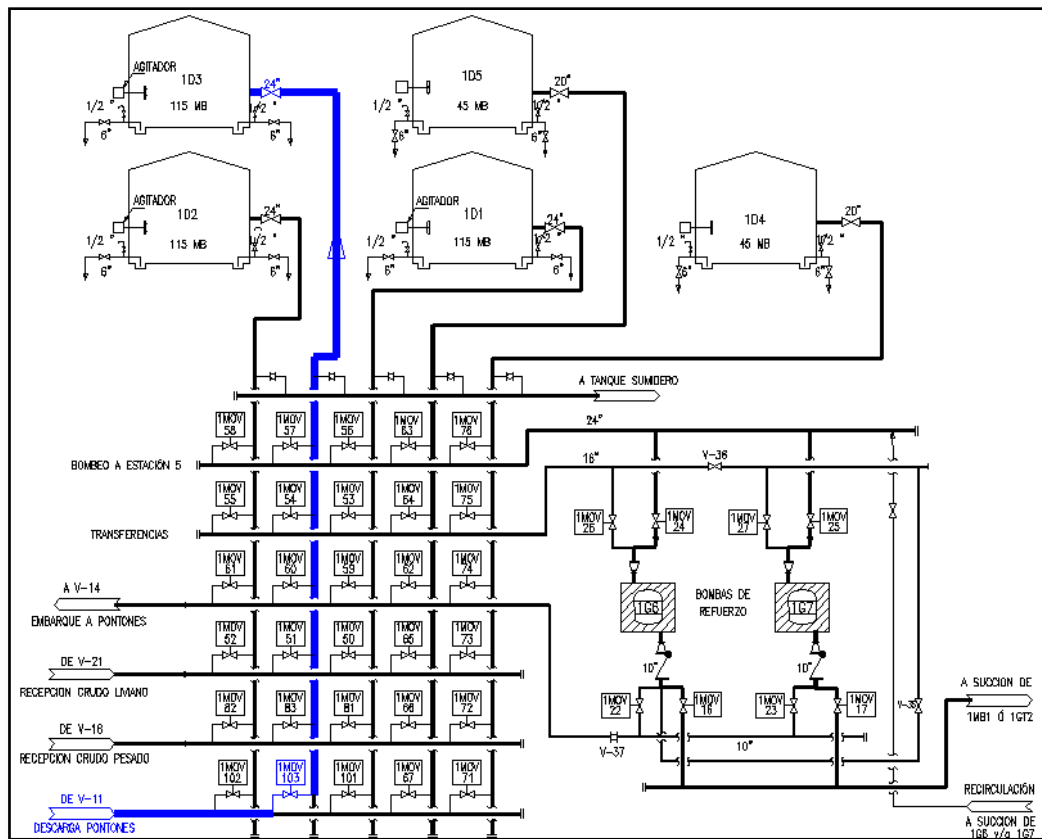


Figura 3.8. Recepción de crudo Piraña en zona de tanques.

Fuente: Manual de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano – Petroperú.

3.3.2. Recepción de crudo Residual Iquitos

Este fluido se obtiene del crudo que no ha podido ser refinado en la Refinería Iquitos por la empresa Pluspetrol o que no ha llegado al nivel de refinación que se ha establecido, de modo que es transportado desde la refinería hasta la zona de pontones, para posteriormente ser llevado, a través del oleoducto, al Terminal Bayóvar y luego ser embarcado y transportado hasta la Refinería de Talara, donde se podrá refinar correctamente. Este crudo se considera como un crudo pesado de modo que tiene un grado API 22.8. Este crudo, una vez descargado, es almacenado en el tanque 1D1 (115 MB).

La barcaza Curaray 2, es la encargada de transportar este crudo hasta la zona de pontones.

Para la recepción de crudo se tienen que cumplir cierto procedimiento:

- Desde el Departamento de Operaciones de Oleoducto – Oficinas Piura, se envía el plan operativo diario, aprobado por el jefe de departamento.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en el tanque 1D1.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en los tanques de la barcaza acoderada en el pontón.
- Se prepara el equipo de bombeo necesario.
- Se coordinan las acciones con el personal de Petroperú.

- Posteriormente se alinean válvulas, de modo que la línea 3 quede habilitada para trasladar el crudo hasta el tanque 1D1.
- Para proceder a la descarga de crudo Residual Iquitos, desde el pontón N° 2, 3 ó 4 hasta la línea 3 del sistema de tuberías, se realizan las mismas acciones que para el crudo Piraña (especificado en el ítem 3.3.1).
- Habiendo llegado el crudo a la línea 3, se procede con la apertura de la válvula de pie, de 24 pulgadas, del tanque 1-D1.
- Seguidamente, se abre la válvula V-11 y se cierran las válvulas V-10, V-13 y V-15, de modo que el crudo se dirige hacia las válvulas motorizadas de recepción. Para ello se deben encontrar cerradas: 1MOV102, 1MOV103, 1MOV71, 1MOV67, 1MOV81, 1MOV50, 1MOV59, 1MOV53 y 1MOV56; manteniéndose abierta, sólo la 1MOV101.
- Una vez, verificado el cierre y apertura de las válvulas, se procede a la descarga de este crudo.

3.3.3. Recepción de crudo Los Ángeles

El crudo Los Ángeles, es explotado por la compañía Cepsa, pero éste a su vez es vendido a Petroperú, de modo que Petroperú lo embarca y lo transporta hasta la zona de pontones de la Estación 1. Este crudo se considera como un crudo muy liviano, a tal grado de tener una viscosidad muy parecida a la de un crudo ya refinado, ya que tiene un grado API 44, en promedio. Este crudo, una vez descargado, es almacenado en el tanque 1D2 (115 MB).

La barcaza Morona, es la encargada de transportar este crudo hasta la zona de pontones.

Para la recepción de crudo se tienen que cumplir cierto procedimiento:

- Desde el Departamento de Operaciones de Oleoducto – Oficinas Piura, se envía el plan operativo diario, aprobado por el jefe de departamento.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en el tanque 1D2.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en los tanques de la barcaza acoderada en el pontón.
- Se prepara el equipo de bombeo necesario.
- Se coordinan las acciones con el personal de Petroperú.
- Posteriormente se alinean válvulas, de modo que la línea 3 quede habilitada para trasladar el crudo hasta el tanque 1D2.
- Para proceder a la descarga de crudo Los Ángeles, desde el Pontón N° 2, 3 ó 4 hasta la línea 3 del sistema de tuberías, se realizan las mismas acciones que para el crudo Yanayacu (especificado en el ítem 3.3.1).
- Habiendo llegado el crudo a la línea 3, se procede con la apertura de la válvula de pie, de 24 pulgadas, del tanque 1D2.
- Seguidamente, se abre la válvula V-11 y se cierran las válvulas V-10, V-13 y V-15, de modo que el crudo se dirige hacia las válvulas motorizadas de recepción. Para ello se deben encontrar cerradas: 1MOV101, 1MOV103, 1MOV71, 1MOV67, 1MOV82, 1MOV52, 1MOV61, 1MOV55 y 1MOV58; manteniéndose abierta, sólo la 1MOV102.

- Una vez, verificado el cierre y apertura de las válvulas, se procede a la descarga de este crudo.

3.3.4. Recepción de crudo Yanayacu

El crudo de Yanayacu es explotado por la compañía Pluspetrol. Este crudo es combinado con el crudo Trompeteros (también de propiedad de Pluspetrol), el cual llega a la Estación 1 a través de una tubería (línea A). Es así, que el crudo Yanayacu (liviano) combinado con el crudo Trompeteros (pesado) forman el crudo Mayna, que es el crudo que será transportado por el Oleoducto Nor Peruano y que es considerado como un crudo liviano, ya que tiene un grado API 25. Estos crudos son almacenados en los tanques 1D4 (46 MB) y 1D5 (46 MB).

La barcaza Kenia IV, es la responsable de transportar este crudo hasta la zona de pontones.

Para la recepción de Yanayacu se tienen que cumplir cierto procedimiento:

- Desde el Departamento de Operaciones de Oleoducto – Oficinas Piura, se envía el plan operativo diario, aprobado por el jefe de departamento.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en los tanques 1D4 ó 1D5.
- Se fiscaliza, inspecciona y revisa el crudo contenido en los tanques de la barcaza acoderada en el pontón.
- Se prepara el equipo de bombeo necesario.
- Se coordinan las acciones con el personal de Pluspetrol.
- Posteriormente se alinean válvulas, de modo que la línea 3 quede habilitada para trasladar el crudo hasta los tanques 1D4 ó 1D5.
- Para proceder a la descarga de crudo Yanayacu, desde el pontón N° 2, 3 ó 4 hasta la línea 3 del sistema de tuberías, se realizan las mismas acciones que para el crudo Piraña (especificado en el ítem 3.3.1).
- Habiendo llegado el crudo a la línea 3, se procede con la apertura de la válvula de pie, de 20 pulgadas, de los tanques 1D4 ó 1D5.
- Seguidamente, se abre la válvula V-11 y se cierran las válvulas V-10, V-13 y V-15, de modo que el crudo se dirige hacia las válvulas motorizadas de recepción.
- Si la descarga es en el tanque 1D4, se mantienen cerradas las válvulas 1MOV101, 1MOV102, 1MOV103, 1MOV67, 1MOV72, 1MOV73, 1MOV74, 1MOV75 y 1MOV76; manteniéndose abierta, sólo la válvula 1MOV71.
- Si la descarga es en el tanque 1D5, se mantienen cerradas las válvulas 1MOV101, 1MOV102, 1MOV103, 1MOV71, 1MOV62, 1MOV63, 1MOV64, 1MOV65 y 1MOV66; manteniéndose abierta, sólo la válvula 1MOV67.
- Verificado el cierre y apertura de las válvulas, se procede a la descarga de este crudo.

3.4. Dimensionamiento del brazo de carga

Para el dimensionamiento de los brazos de carga/descarga, se toman en cuenta las distancias máximas y distancias mínimas desde el brazo de carga hasta el manifold de las barcazas.

Por ello se ha realizado el levantamiento de información de campo, para así poder obtener alternativas de brazos de carga que cumplan con los requisitos mínimos.

Para definir el área de trabajo de los brazos, se han tomado mediciones a las barcazas acoderadas en los pontones, bajo los siguientes escenarios:

- Cuando la barcaza se encuentra completamente llena de crudo
- Cuando la barcaza ya ha descargado, y se encuentra sin crudo.
- En los dos escenarios anteriores, se considera que la barcaza se encuentra en el medio de las defensas (aguas arriba, medio y aguas abajo) de los pontones, de modo que el manifold de ésta se encuentra lo más cercano al pontón.

A continuación se muestran los esquemas, para el posterior dimensionamiento de los equipos:

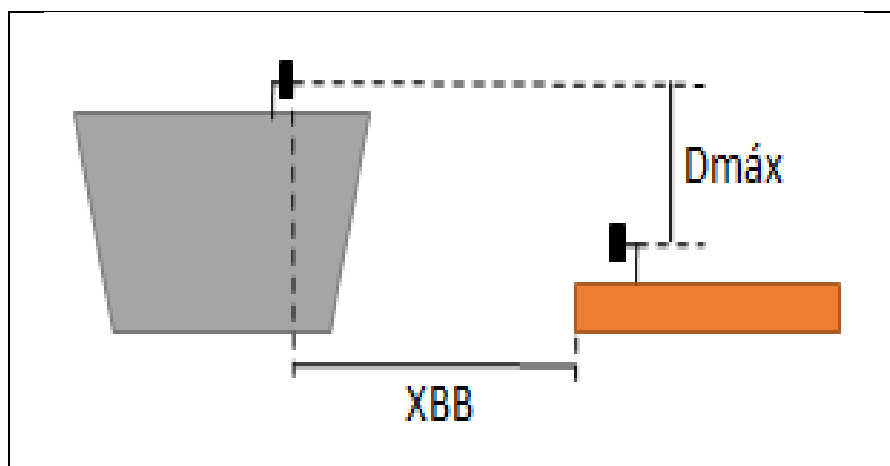


Figura 3.9. Distancia vertical máxima.

Fuente: Informe técnico de implementación de brazos de carga – Petroperú.

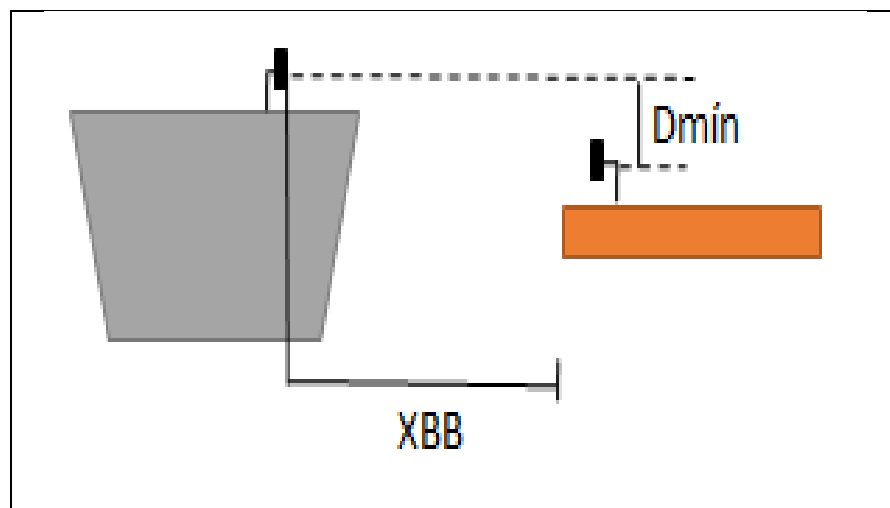


Figura 3.10. Distancia vertical mínima.

Fuente: Informe técnico de implementación de brazos de carga – Petroperú.

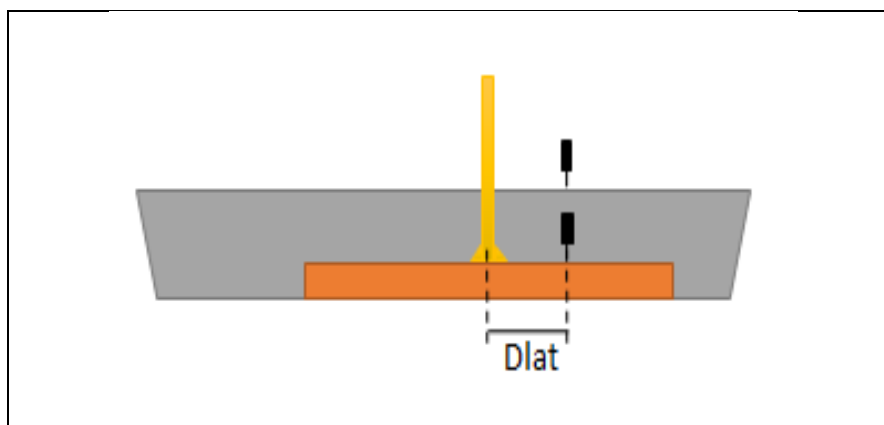


Figura 3.11. Distancia lateral.

Fuente: Informe técnico de implementación de brazos de carga – Petroperú.

De modo que los resultados obtenidos se observan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Dimensionamiento por cada barcaza en la zona de pontones.

Barcaza	Dmín (m)	Dmáx (m)	XBB (m)	Dlat (m)
Curaray 2	2.10	3.60	4.40	3.80
Curaray 7	2.30	4.85	1.20	3.50
Morona	1.85	4.85	1.44	3.60
Kenia	1.85	4.60	6.00	3.15

Elaborado por: Autor.

Fuente: Datos obtenidos por mediciones en campo.

Habiendo realizado el levantamiento de información de campo en la zona de pontones, se procede a dimensionar el brazo de carga, tomando en cuenta los máximos y mínimos valores obtenidos, considerando incluso un factor de sobre o sub dimensionamiento, de modo que se asegure que las barcasas que arriben, no tengan mayores problemas al conectar su manifold con el manifold de cada uno de los pontones. Es por ello, que el brazo de carga debe abarcar el área necesaria, según lo siguiente:

a) Rango Vertical del Brazo:

- Mínimo: 100 mm.
- Máximo: 5000 mm.

b) Distancia Horizontal

- Frontalmente debe ser mayor a 6 metros.
- Lateralmente debe ser mayor 2.3 metros.

En conclusión, el brazo presentará las siguientes longitudes:

- Soporte de Apoyo o Riser: 2.5 metros, aprox.
- Brazo Interior o Primer Brazo: 4,75 metros, aprox.
- Brazo Exterior o Segundo Brazo: 3.5 metros, aprox.

Estos brazos de carga deben tener al menos 3 grados de libertad, de modo que su flexibilidad permitan operarlos de manera más fácil y así asegurar una mejor conexión con el manifold de la barcaza.

El brazo de carga presenta un dimensionamiento, según la figura 3.12 y 3.13.

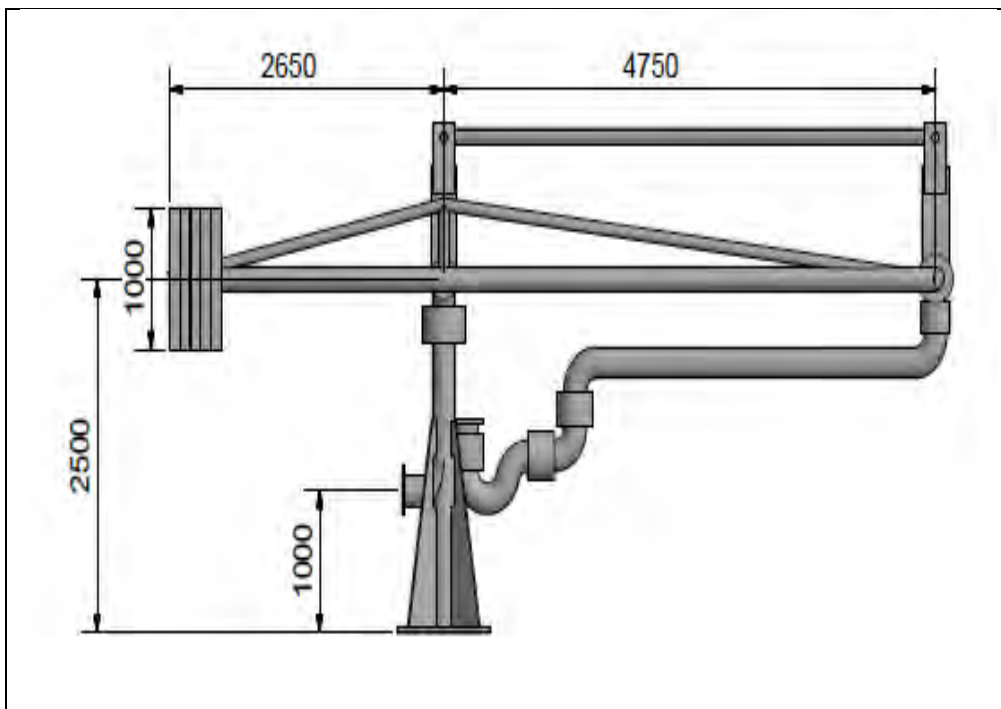


Figura 3.12. Vista lateral del brazo de carga (no detallado).

Fuente: Elaborado por Kanon Loading Equipment y autor.

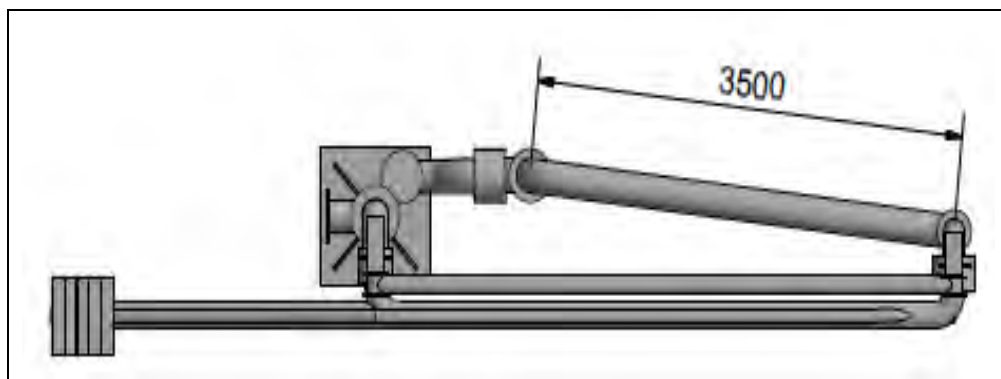


Figura 3.13. Vista planta del brazo de carga (no detallado).

Fuente: Elaborado por Kanon Loading Equipment y autor.

Nota: Los diseños mostrados en la figuras 3.12 y 3.13, son una representación general de los brazos de carga, no detallado con sus accesorios reales, sin embargo, se muestra

las dimensiones aproximadas que éste debe tener para cumplir con los requisitos expuestos anteriormente, como rango vertical y distancia horizontal.

A continuación, se muestra en las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 el área que debería abarcar el brazo de carga, respecto a las dimensiones que se han obtenido.

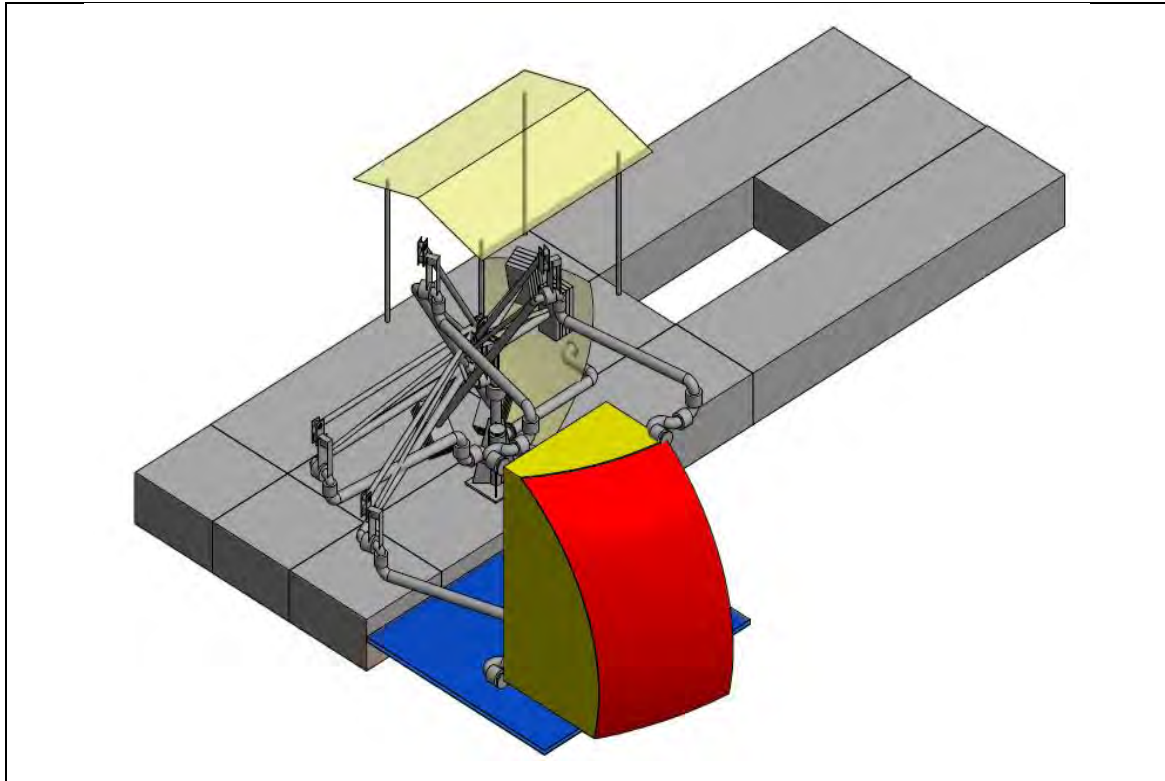


Figura 3.14. Vista isométrica del área que abarca el brazo de carga en el pontón.

Fuente: Elaborado por Kanon Loading Equipment y autor.

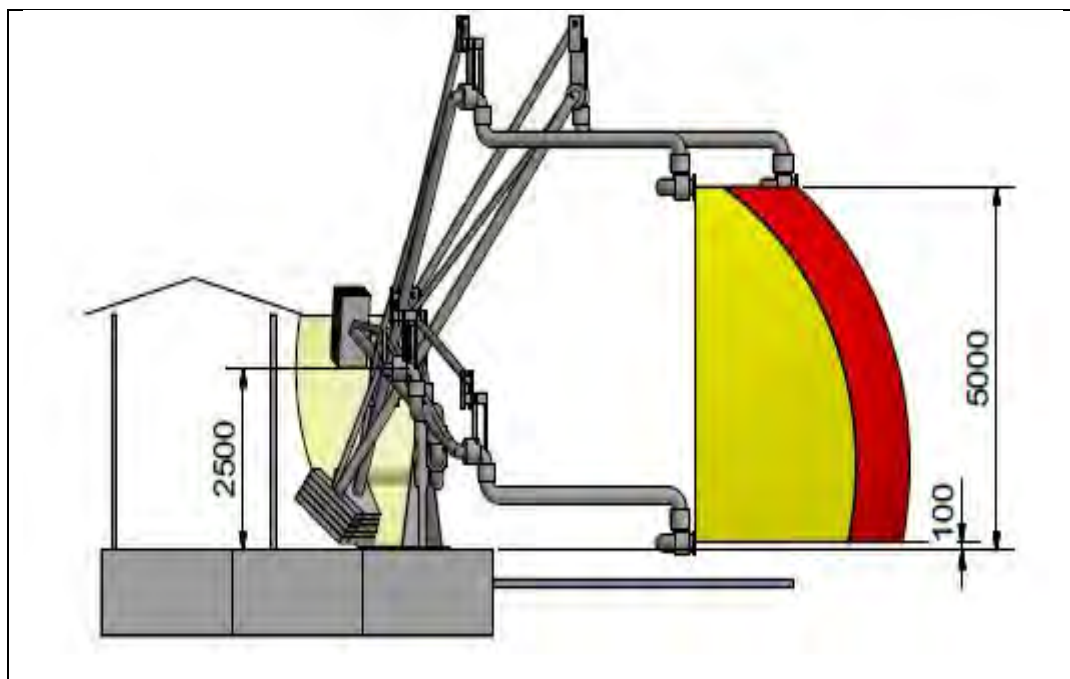


Figura 3.15. Vista de perfil del área que abarca el brazo de carga en el pontón.

Fuente: Elaborado por Kanon Loading Equipment y autor.

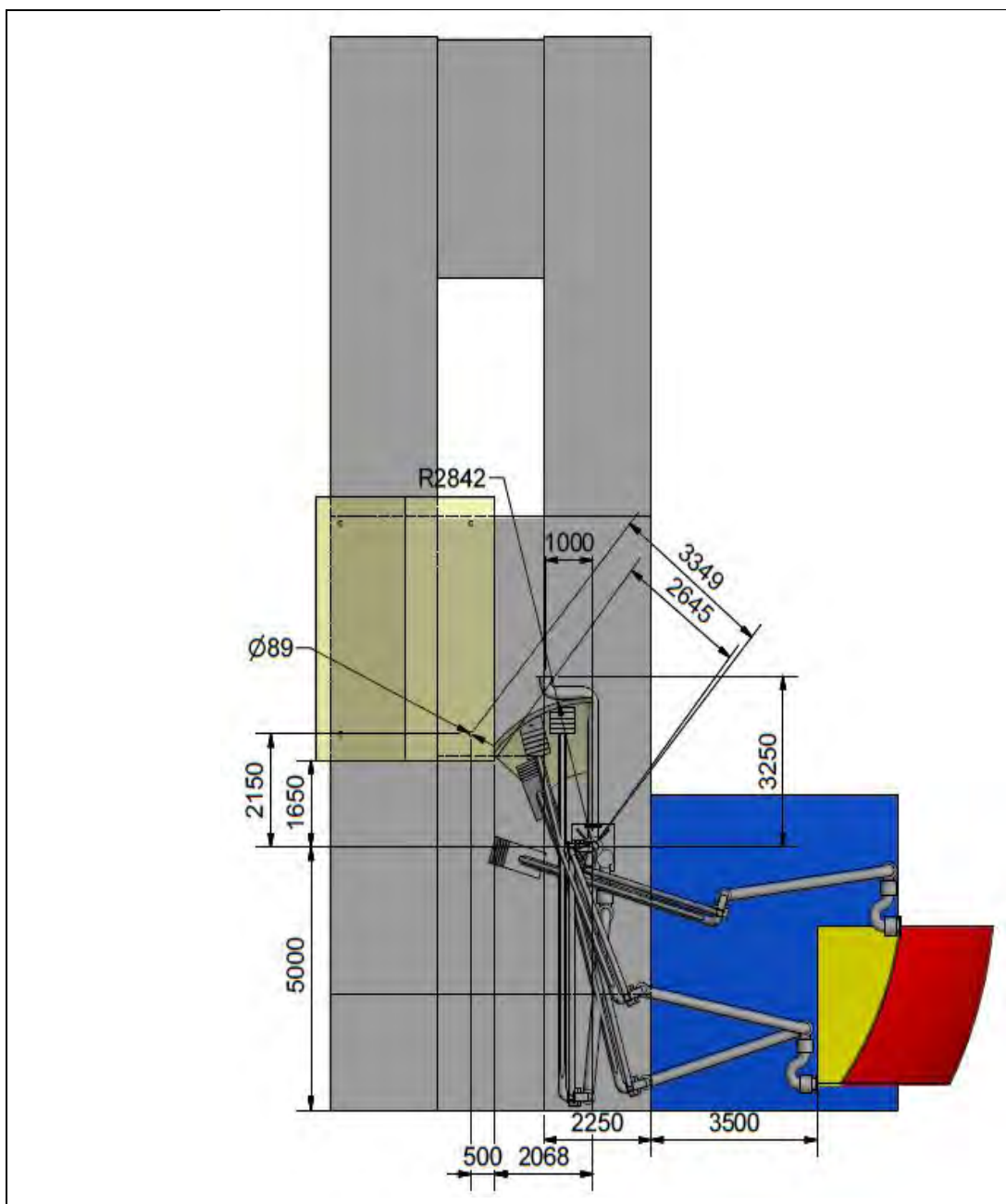


Figura 3.16. Vista de planta del área que abarca el brazo de carga en el pontón.

Fuente: Elaborado por Kanon Loading Equipment y autor.

3.5. Alternativas y cotizaciones

Habiendo realizado el dimensionamiento, se buscan propuestas de los equipos que cumplan con los requisitos, además de que se considerarán las propuestas económicas proporcionadas por cada empresa proveedora.

Este proyecto, a ser desarrollado en la empresa Petroperú S.A., se analiza tanto las propuestas técnicas como las económicas, de modo que por el monto a pagar, se lleve a un Proceso por Competencia Menor (CME), cuya evaluación por lo general evalúa 60% la propuesta técnica y 40% la propuesta económica. Para evaluar la

propuesta económica se toma como referencia el MER (Monto Estimado Referencial), obtenido después de una investigación de mercado.

Para este proyecto se ha obtenido un MER, tomando cotizaciones de brazos de carga, que serían instalados en la Planta de Ventas “El Milagro” (PVEM) – Petroperú, cuyas cotizaciones se muestran a continuación.

Tabla 3.7. *Cotizaciones anteriores de brazos de carga para Planta de Ventas “El Milagro”.*

Empresa	Equipos	Monto Estimado
	- 2 brazos de carga marinos de 8”x75’. - Operado hidráulicamente. Incluye sistema ERS. - 1 Instalación hidráulica/eléctrica para la operación y control de brazos de carga.	630,000.00 €
	- 3 brazos de carga 8”, 7.000x8750x10500mm; CS; Multi-SizeHydr. QC/DC. - 1 Sistema de Control eléctrico-hidráulico para 3 brazos. - Inspección, pruebas, delivery, etc.	921,600.00 €

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotizaciones para implementación de brazos de carga en Planta de Ventas “El Milagro”.

Tabla 3.8. *Costo estimado por (01) brazo de carga marino para Planta de Ventas “El Milagro”.*

Empresa	Costo Estimado por cada Brazo de Carga Marino
	315,000.00 €
	307,200.00 €

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotizaciones para implementación de brazos de carga en Planta de Ventas “El Milagro”.

El promedio por compra estos brazos de carga es de 311,100.00 €; sin embargo, se debe considerar que el tamaño de estos brazos de carga son tres veces más grandes que los que se requieren para la zona de pontones.

Es por ello que el MER de nuestros brazos de carga marinos, se considera como la tercera parte del monto obtenido para los brazos de carga de Planta de Ventas “El Milagro”. Por tanto, el valor del **MER** es **103,700.00 €**.

Habiendo obtenido el MER, se evaluarán las propuestas, desde el punto económico; sin embargo, para este proyecto, lo primordial es una correcta operación de los equipos y la seguridad en cada una de las maniobras realizadas, al momento de descargar o embarcar crudo.

En este proyecto se han presentado 2 alternativas, las cuales son las siguientes.

Tabla 3.9. *Empresas y sus respectivas propuesta de brazos de carga marinos para Estación 1 – ONP.*

PROVEEDOR	ALTERNATIVAS DE BRAZOS DE CARGA
	Brazo de carga MLA260 SpecialDesign, size 8”, 150#, 2500 x 5250 x 3500 mm. Acero al carbono, operado manualmente.
	Brazo de carga de 8”. Acero al carbono, con sellos de viton.

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotizaciones presentadas por ambas empresas.

3.5.1. Alternativa 1: Kanon Loading Equipment

Kanon Loading Equipment es una empresa con más de 33 años de experiencia en equipos de brazos de carga marinos.

El equipo que propone esta empresa es un “*MARINE LOADING ARM, TYPE MLA260 SPECIAL DESIGN SIZE 8 PULG*”, que es un brazo que se maneja manualmente y que presenta las siguientes dimensiones:

- Soporte de apoyo o riser: 2500 mm.
- Brazo interior: 5250 mm.
- Brazo exterior: 3500 mm.

Datos de Operación del Equipo:

- | | |
|---|------------------------------------|
| a) Producto | : Hidrocarburos. |
| b) Operación | : Manual |
| c) Temperatura de diseño | : 60°C. |
| d) Presión de diseño | : 18 bar. |
| e) Conexión del producto – lado barcaza | : 8” ANSI B16.5 150# WN RF Flange. |

- | | |
|-------------------------------------|--|
| Conexión del producto – lado pontón | : 8” ANSI B16.5 150# WN RF Flange. |
| f) Sistema de balanceo | : Mecanismo de contrapeso único. |
| g) Materiales | |
| Piezas en contacto con el producto | : Acero al carbono. |
| Junta de estanqueidad | : Acero inoxidable. |
| Piezas de construcción | : Acero al carbono. |
| h) Preparación de superficie: | |
| Partes de acero al carbono | : Sistema de pintura epoxi de 3 capas. |

Otros accesorios incluidos:

- 1) Tamaño del drenaje de 2” con válvula manual en el ensamble de eslabón triple y en el riser.
- 2) Conexión de puesta a tierra en el riser.
- 3) Cáncamos.
- 4) Placa de acero inoxidable.
- 5) Pernos de anclaje.
- 6) Brida de aislamiento eléctrico.
- 7) Manual ¹⁰QC/DC en la línea de productos, tamaño 8”, 150#, CS.

Kanon Loading Equipment, además presenta las pruebas e inspecciones que se le han realizado a sus equipos:

- Certificado de materiales, de las piezas en contacto con el producto, según EN10204-3.1.
- Prueba hidrostática a 1,5 veces la presión de diseño.
- Pruebas de fuga con aire a 0.5 bar.
- Prueba de soldadura: 100% rayos X de soldaduras periféricas.

Kanon Emergency Release Coupling (ERC)

Además Kanon Loading Equipment presenta sus sistemas de acoplamiento de liberación de emergencia (ERC), que son aquellos que garantizan, que ante cualquier posible fuga de hidrocarburo, éstas sean controladas automáticamente.

El KANON ERC es parte del rango de los sistemas de seguridad de emergencia, diseñado para proveer la mejor seguridad posible en la carga y descarga de un fluido, cuando se están usando brazos de carga marinos.

El ERC provee una desconexión totalmente automática, segura y libre de derrames, del brazo de carga con la barcaza, si se superan los límites de la envolvente de trabajo seguro del brazo.

Su brazo de carga está diseñado básicamente como dos válvulas de bolas colocadas lo más cerca posible. Las bridas entre las válvulas se mantienen juntas por dos casquillos que están interconectados con una biela extraíble. Después del cierre de

¹⁰ Quick Connect / Disconnect Coupler.

las válvulas de bolas y por tanto liberación del ERC, una parte cierra el brazo de carga, mientras que la otra permanece en la barcaza y cierra el manifold de ésta.

El ERC cuenta con un diseño simple de cilindro único, que provee un alto nivel de seguridad intrínseca, probado en muchas aplicaciones de brazos de carga marinos. Los sistemas de seguridad de emergencia Kanon, y específicamente los ERC, son conocidos como “Workhorses” en la industria de transferencia de fluido, proporcionando un rendimiento con poco o nada de mantenimiento.

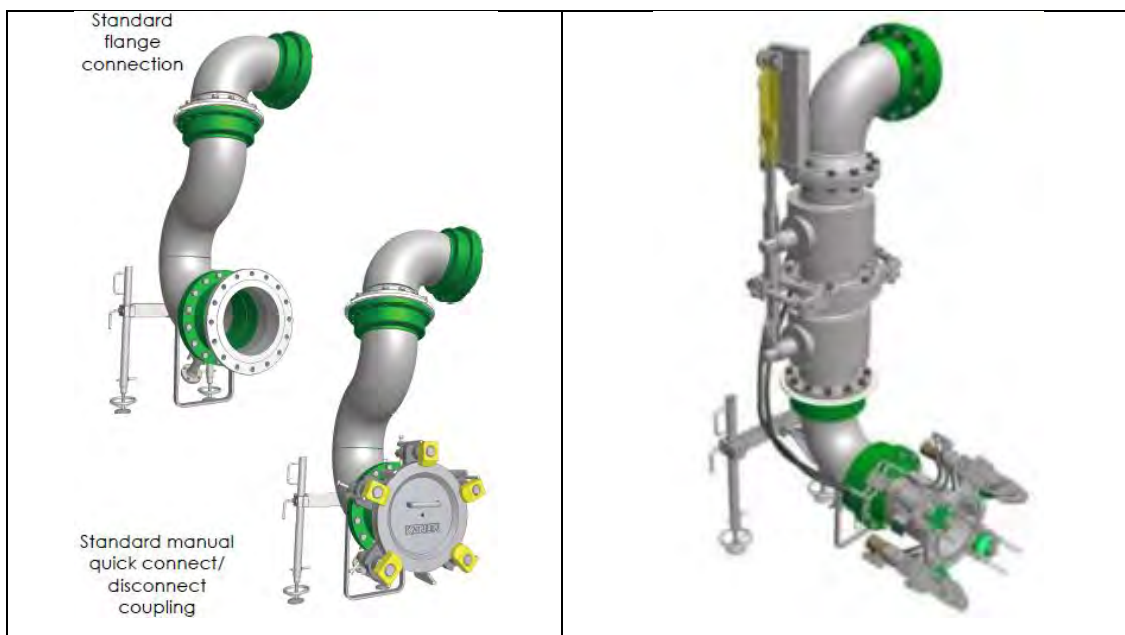


Figura 3.16. Sistema QC/DC (izquierda) y ERC (derecha) – Kanon Loading Equipment.

Fuente: Cotización Q1451102-Rev1-Co2 de Kanon Loading Equipment.

Esta es la propuesta, desde el punto de vista técnico, presentado por Kanon Loading Equipment. En el anexo A.1, se presenta esta propuesta junto con su cotización.

3.5.2. Alternativa 2: APLISAC

APLISAC es una empresa líder en el Perú, con más de 10 años de experiencia en el campo de la industria del petróleo, minera, pesquera, química.

Esta empresa se dedica a la instalación de brazos de carga, cuyos productos son importados desde diferentes compañías importantes del mundo.

El equipo que propone esta empresa es un brazo de carga con las siguientes características:

- Brazo de Carga : 8”.
- Marca : EMCO WHEATON.
- Material : Acero al carbono.
- Sellos : Viton.
- Operación : Manual

Su propuesta está basada en la implementación de un brazo de carga similar a los brazos de carga que existen en Refinería “El Milagro” – Petroperú, que se observa en la figura 3.17. Sin embargo, no se han presentado mayores especificaciones acerca del equipo.



Figura 3.17. Brazo de carga de Refinería “El Milagro” – Propuesta APLISAC.

Fuente: Fotografía capturada por APLISAC.

En el anexo A.2, se adjunta la propuesta de APLISAC.

3.5.3. Cotizaciones

Tabla 3.10. Cotización de Kanon, por tres (03) brazos de carga para zona de Estación 1.

Cotización KANON Loading Arms				
Ítem	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1.0	3	MLA260 SPECIAL DESIGN, size 8", 150#, 2,500 x 5,250 x 3,500mm.Acero al Carbono, manualmente operado y con manual QC/DC	108,000.00 €	324,000.00 €
2.0	3	Prueba e Inspección	3,500.00 €	10,500.00 €
2.1	1	Shop Test	5,700.00 €	5,700.00 €
3.0	3	Empaque y Entrega Delivery (*)	3,000.00 €	9,000.00 €
4.0	1	Transporte Lima - Yurimaguas, Alquiler de grúa para subirlo en Barcaza, Transporte fluvial Yurimaguas - Estación 1	9,776.54 €	9,695.29 €
			TOTAL	358,895.29
			T/C ACTUAL	3.61
			TOTAL EN SOLES (S/.)	1,295,612.00
5.0	1.0	Supervisión de la Instalación de MLA's per diem rate	AS PER DIEM RATE 2014	

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotización Q1451102-Rev1-Co2 de Kanon Loading Equipment.

Tabla 3.11. Cotización APLISAC, por tres (03) brazos de carga para zona de pontones de Estación 1 – ONP.

Cotización APLISAC - EMCO WHEETON				
<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Precio Unitario (\$)</i>	<i>Precio Total (\$)</i>
1.0	3.0	Brazo de Carga de 8" para Instalacion en Ponton de Estacion N° 01. EMCO WHEETON. Alemania. Acero al carbono con sellos Viton.	190,298.00	570,894.00
2.0	1.0	Transporte Lima - Yurimaguas, Alquiler de grúa para subirlo en Barcaza, Transporte fluvial Yurimaguas - Estación 1	11,658.89	10,245.90
			TOTAL	581,139.90
			T/C ACTUAL	3.416
			TOTAL EN SOLES (S/.)	1,985,173.90

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotización 199-IND-14 de APLISAC.

3.6. Selección del Brazo de Carga

Habiendo recibido las propuestas técnicas y económicas de las empresas “Kanon Loading Equipment” y “APLISAC”, se procede a realizar las siguientes comparaciones.

Tabla 3.12. Comparación de propuestas técnicas entre Kanon y APLISAC.

Comparación de propuestas técnicas	
Kanon Loading Equipment	APLISAC
- Kanon propone un brazo de carga, con un dimensionamiento muy aproximado a las que se han establecido, según el levantamiento de información en campo. - Es un brazo que se opera de manera manual, debido a la calidad de sus juntas giratorias. - Presenta un sistema QC/DC, muy interesante que facilita la operación de conexión y desconexión. - Su presión de diseño, está muy por encima de la presión de succión de la motobomba, que se utiliza en la descarga de crudo, por lo cual no habría problemas en la operación. - Utiliza mecanismos de contrapeso único. - Los materiales de cada una de las piezas son aceros al carbono e inoxidable. - Presenta un sistema ERC.	- El material del brazo de carga es acero al carbono y sus sellos son de viton. - Es un brazo que se opera de manera manual, debido a la calidad de sus juntas giratorias. - No presenta mayores detalles técnicos.

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotizaciones presentadas por ambas empresas.

Tabla 3.13. Comparación de propuestas económicas entre Kanon y APLISAC.

Comparación de propuestas económicas	
Kanon Loading Equipment	APLISAC
- Según su cotización Q1451102-Rev1-Co2 , Kanon propone un monto total de 349,200.00 € por la adquisición de tres (03) brazos de carga, sin incluir el transporte de los equipos hasta la zona de Pontones de la Estación 1. Dentro del monto total, incluye las pruebas y reportes de inspección de los equipos, hechos en fábrica.	- Según su cotización 199-IND-14 , APLISAC propone un monto total de \$190,298.00 por la adquisición de un (01) brazo de carga, sin incluir el transporte de los equipos hasta la zona de Pontones de la Estación 1.

Elaborado por: Autor.

Fuente: Cotizaciones presentadas por ambas empresas.

Se puede observar que la propuesta técnica de Kanon, es muy detallada y completa, y además cumple con los requisitos mínimos de operación.

Desde el punto de vista económico, el monto por la adquisición de un solo brazo de carga, a través de la empresa Kanon es de 116,400.00 €, sin incluir traslado a Estación 1. De modo que por cada brazo de carga, hay un excedente de 12.24% respecto al MER establecido.

Por otro lado, el monto por la adquisición de un solo brazo de carga, a través de la empresa APLISAC es de \$192,298.00 que equivale a 158,142.38 €. De modo que hay un excedente de 52.5% respecto al MER establecido.

En conclusión, la mejor alternativa para Petroperú, sería la adquisición de un “*MARINE LOADING ARM, TYPE MLA260 SPECIAL DESIGN SIZE 8 PULG.*”, el cual sería proporcionado por la empresa Kanon Loading Equipment.

Capítulo 4

Verificación hidráulica de descarga de crudo hasta tanques de almacenamiento

4.1. Introducción

Previamente a la instalación de un equipo, es necesario sustentar que este equipo operará sin ningún inconveniente.

Es así, que habiendo seleccionado el brazo de carga, más adecuado para la zona de pontones de la Estación 1, se verificará que la descarga de crudo podrá llevarse a cabo, con los equipos implementados o si es necesario alguna modificación (bomba, brazo de carga, tubería, etc).

En la Estación 1, se cuenta con un terreno llano, que se mantiene constante a 113 m.s.n.m. por lo que, las pérdidas de presión más significativas, serán por la longitud de la tubería desde los pontones hasta los tanques.

Se simularán diferentes escenarios, para cada crudo con su respectivo tanque, pero tomando como punto de partida el pontón más alejado a la zona de tanques, de modo que supone una mayor caída de presión (escenario más crítico). Es así que, el pontón más alejado es el Pontón N°4, con 1688 metros, en promedio (Ver **Plano Ole-m-1a-052**, en anexo B). A su vez, esta tubería presenta diferentes diámetros. Por lo tanto, en la tubería de descarga se presentarán mayores problemas y se supone, no tener

inconvenientes en la succión por ser un tramo muy pequeño, que sólo considera la longitud total del brazo de carga.

En el Capítulo 3, se obtuvieron los datos operativos para cada descarga de crudo, de modo que se realizarán los cálculos justificativos, de acuerdo a la tabla 3.5 “Datos de operación en descarga de crudo a zona de tanques”.

4.2. Simulación hidráulica de crudo Residual Iquitos (RMAQ)

4.2.1. Consideraciones para el cálculo

- La tubería de succión tiene la longitud total del brazo de carga (soporte de apoyo, brazo interior y brazo exterior) que es de 10.75 metros, con un diámetro de 8 pulgadas.
- Se considera que la descarga se realiza en el Pontón N° 4, de modo que la longitud aproximada de la tubería de descarga es de 1.69 Km, siendo 70 metros de tubería de 8” (desde pontones hasta recepción pontones) y 1618 m de tubería de 10” (desde recepción de pontones hasta la zona de válvulas MOV’s).
- El crudo Residual Iquitos, llega hasta el tanque 1D1. Se considera una longitud de tubería adicional de 113.24 metros y 24” de diámetro (Según Plan de Sugerencias, anexo C), desde el manifold (zona MOV’s) hasta dicho tanque.
- El caudal al que se bombea hasta la zona de tanques es **840 barriles/hora**.
- El crudo Residual, tiene una viscosidad de **320.7 cSt@40°C** y un grado **API de 22.8**.
- Los tanques de almacenamiento tienen su entrada de crudo en la parte inferior de estos. Por lo que no se considera caída de presión por gravedad.
- La presión de descarga de la bomba es 2.81 Kg/cm^2 y la presión de succión es 0.3 Kg/cm^2 .
- Para el cálculo de las pérdidas secundarias, se toman datos del anexo D, donde se observa las longitudes equivalentes de los accesorios que existen en la línea de descarga de crudo de la Estación 1.
- Se considera que el flujo es incompresible y se encuentra en el régimen permanente.
- Se considera propiedades uniformes en cada sección donde el fluido cruza la superficie de control.
- El área de cada sección es plana y perpendicular al vector velocidad del fluido de trabajo.
- El cambio en la energía cinética y potencial por unidad de masa se considera insignificante respecto de otros términos presentes.

4.2.2. Resultados

La simulación se realizará mediante una hoja de cálculo en Excel, en la cual se verá la caída de presión cada 50 metros de tramo, de modo sea un cálculo detallado.

En las tablas 4.1 y 4.2, se muestran los resultados finales en términos generales del cálculo hidráulico, sin embargo, en el anexo E.1, se muestran los resultados de una forma más detallada.

El objetivo del siguiente cálculo es demostrar que la caída de presión en el transporte de crudo Residual Iquitos, desde la zona de pontones hasta la zona de tanques, es menor a 2.81 Kg/cm² ó 40 psi.

Pérdidas Primarias:

Tabla 4.1. *Caída de presión por transporte de crudo Residual Iquitos desde zona de pontones hasta tanque 1D1 – Estación 1 del ONP.*

Producto		Residual Iquitos	
API@40°C		22.80	
Grav. Esp.		0.92	
Densidad(lbm/ft3)		57.22	916.72 kg/m3
Viscosidad (cP)		294.16	320.77 cSt@40°C
Longitud que ocupa en el ducto (Km)		1.8	
Condicion operacional			
Caudal (Bpd)		20,160	840 bph
Temp. Inicial (I)		104	
Temp. final (F)		104	
Regimen		Laminar	
Cálculo Caída de Presión			
	Presión	Presión Inicial	
Pinicial (Psig)	40.00	63.25	
Pinicial (kg/cm ²)	2.81	4.45	
Pfinal (Psig)	12.38	35.63	
Pfinal (kg/cm ²)	0.87	2.51	
ΔP (Psig)	27.62	27.62	
ΔP (kg/cm ²)	1.94	1.94	
Tuberia			
Diametro interno(Pulg.)		Variable	
Rugosidad tuberia (Pulg.)		0.0018	
Material tub.		API 5L GR X52	
Sy (psi)		52000	
Esp.,tub(Pulg.)		Variable	
Dia-externo(Pulg.)		Variable	

Elaborado por: Autor.

Pérdidas Secundarias

Tabla 4.2. *Pérdidas secundarias por accesorios en el tramo Pontón 4 – Tanque 1-D1.*

ACCESORIOS		CANTIDAD DE ACCESORIOS POR TUBERIAS		
		TRAMO Φ"	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"
		8	10	24
Filtro				
Válvula Check				
Válvula de Compuerta		3	3	
Válvula de Verif. Girat				
Válvula de Verif. Bola				
Válvula de Mariposa				2
Válvula de Pie - Vástago				
Válvula de pie - Bisagra				
Codo Estandar 90°		2	7	
Codo Roscado 90°				
Codo Radio Largo 90°				1
Codo Estandar 45°				5
Vuelta Cerrada en Retorno				
T Estandar con Flujo Directo				2
T Estandar con Flujo Lateral				
CAUDAL	ΔP (psi)			ΔP (psi) Total
	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"	Tramo
BPH	8	10	24	Pontón 4 - Tanque 1D1
840	0.647148143	0.918988007	0.727468476	2.293604626

Elaborado por: Autor.

Según los resultados obtenidos, el crudo Residual Iquitos puede descargarse, sin ningún inconveniente, ya que tiene una caída total de 29.913 PSI ó 2.1 Kg/cm², la cual es menor a los 2.81 Kg/cm² de presión de descarga de la bomba. Cabe precisar que éste crudo se descarga en un periodo de 18.7 horas, en promedio (tabla 3.5.).

4.3. Simulación hidráulica de crudo Yanayacu (RYPL)

4.3.1. Consideraciones para el Cálculo

- Se considera que la descarga se realiza en el Pontón N° 4, de modo que la longitud aproximada de la tubería de descarga es de 1.69 Km, siendo 70 metros de tubería de 8" (desde pontones hasta recepción pontones) y 1618 m de tubería de 10" (desde recepción de pontones hasta la zona de válvulas MOV's).
- El crudo Yanayacu, llega hasta el **Tanque 1D4 y 1D5**. Se considera una longitud de tubería adicional de 259.96 metros y 24" de diámetro (Según Plan de Sugerencias, anexo C) desde el Manifold (Zona MOV's) hasta el tanque 1D5 (más alejado).
- El caudal al que se bombea hasta la zona de tanques es **383 barriles/hora**.
- El crudo Yanayacu, tiene una viscosidad de **308.7 cSt@40°C** y un grado **API de 22.7**.
- Los tanques de almacenamiento tienen su entrada de crudo en la parte inferior de estos. Por lo que no se considera caída de presión por gravedad.
- La presión de descarga de la bomba es 2.81 Kg/cm² y la presión de succión es 0.3 Kg/cm².

- Para el cálculo de las pérdidas secundarias, se toman datos del anexo D, donde se observa las longitudes equivalentes de los accesorios que existen en la línea de descarga de crudo de la Estación 1.
- Se considera que el flujo es incompresible y se encuentra en el régimen permanente.
- Se considera propiedades uniformes en cada sección donde el fluido cruza la superficie de control.
- El área de cada sección es plana y perpendicular al vector velocidad del fluido de trabajo.
- El cambio en la energía cinética y potencial por unidad de masa se considera insignificante respecto de otros términos presentes.

4.3.2. Resultados

En las tablas 4.3 y 4.4, se muestran los resultados de las pérdidas primarias y secundarias de dicho tramo, sin embargo en el anexo E.2 se muestran los resultados de una forma más detallada.

El objetivo del siguiente cálculo es demostrar que la caída de presión total (primarias y secundarias) en el transporte de crudo Yanayacu, desde la Zona de pontones hasta la Zona de Tanques, es menor a 2.81 Kg/cm² ó 40 psi.

Tabla 4.3. *Caída de presión por transporte de crudo Yanayacu, desde zona pontones hasta tanque 1D5 – Estación 1 del ONP.*

Producto		Yanayacu	
API@40°C		22.70	
Grav. Esp.		0.92	
Densidad(lbm/ft3)		57.26	917.32 kg/m3
Viscosidad (cP)		283.28	308.70 cSt@40°C
Longitud que ocupa en el ducto (Km)		1.95	
Condicion operacional			
Caudal (Bpd)		9,192	383 bph
Temp. Inicial (I)		104	
Temp. final (F)		104	
Regimen		Laminar	
Cálculo Caída de Presión			
	Presión	Presión Inicial	
Pinicial (Psig)	40.00	40.00	
Pinicial (kg/cm ²)	2.81	2.81	
Pfinal (Psig)	27.84	27.84	
Pfinal (kg/cm ²)	1.96	1.96	
ΔP (Psig)	12.16	12.16	
ΔP (kg/cm ²)	0.86	0.86	
Tuberia			
Diametro interno(Pulg.)		Variable	
Rugosidad tuberia (Pulg.)		0.0018	
Material tub.		API 5L GR X52	
Sy (psi)		52000	
Esp.,tub(Pulg.)		Variable	
Dia-externo(Pulg.)		Variable	

Elaborado por: Autor.

Tabla 4.4. Pérdidas secundarias por accesorios en el tramo Pontón 4 – Tanque 1-D5.

ACCESORIOS		CANTIDAD DE ACCESORIOS POR TUBERIAS		
		TRAMO Φ 8"	TRAMO Φ 10"	TRAMO Φ 24"
Filtro				
Válvula Check				
Válvula de Compuerta		3	3	
Válvula de Verif. Girat				
Válvula de Verif. Bola				
Válvula de Mariposa				2
Válvula de Pie - Vástago				
Válvula de pie - Bisagra				
Codo Estandar 90°		2	7	3
Codo Roscado 90°				
Codo Radio Largo 90°				
Codo Estandar 45°				4
Vuelta Cerrada en Retorno				
T Estandar con Flujo Directo				2
T Estandar con Flujo Lateral				
CAUDAL	ΔP (psi)			ΔP (psi) Total
	TRAMO Φ 8"	TRAMO Φ 10"	TRAMO Φ 24"	Tramo
BPH	8	10	24	Pontón 4- Tanque 1D1
383	0.284154413	0.403515795	0.394416775	1.082086982

Elaborado por: Autor.

Según los resultados obtenidos, el crudo Yanayacu puede descargarse, sin ningún inconveniente, ya que tiene una caída total de 13.26 PSI ó 0.93 Kg/cm², la cual es menor a los 2.81 Kg/cm² de presión de descarga de la bomba.

La caída de presión es menor, ya que el caudal de descarga del crudo Yanayacu es menor que cuando se bombea crudo Residual Iquitos. Este crudo se descarga en un periodo de 7.1 horas, en promedio (tabla 3.5).

4.4. Simulación hidráulica de crudo Piraña (RPER)

4.4.1. Consideraciones para el cálculo

- Se considera que la descarga se realiza en el Pontón N° 4, de modo que la longitud aproximada de la tubería de descarga es de 1.69 Km, siendo 70 metros de tubería de 8" (desde pontones hasta recepción pontones) y 1618 m de tubería de 10" (desde recepción de pontones hasta la zona de válvulas MOV's).
- El crudo Piraña, llega hasta el **Tanque 1D3**. Se considera una longitud de tubería adicional de 226.28 metros y 24" de diámetro (Según Plan de Sugerencias, anexo C), desde el Manifold (Zona MOV's) hasta dicho tanque.
- El caudal al que se bombea hasta la zona de tanques es **454 barriles/hora**.
- El crudo Yanayacu, tiene una viscosidad de **201.82 cSt@40°C** y un grado **API de 20.8**.
- Los tanques de almacenamiento tienen su entrada de crudo en la parte inferior de estos. Por lo que no se considera caída de presión por gravedad.
- La presión de descarga de la bomba es 2.81 Kg/cm² y la presión de succión es 0.3 Kg/cm².

- Para el cálculo de las pérdidas secundarias, se toman datos del anexo D, donde se observa las longitudes equivalentes de los accesorios que existen en la línea de descarga de crudo de la Estación 1.
- Se considera que el flujo es incompresible y se encuentra en el régimen permanente.
- Se considera propiedades uniformes en cada sección donde el fluido cruza la superficie de control.
- El área de cada sección es plana y perpendicular al vector velocidad del fluido de trabajo.
- El cambio en la energía cinética y potencial por unidad de masa se considera insignificante respecto de otros términos presentes.

4.4.2. Resultados

En las tablas 4.5 y 4.6 se muestran los resultados finales en términos generales del cálculo hidráulico, sin embargo en el anexo E.3 se muestran los resultados de una forma más detallada.

El objetivo del siguiente cálculo es demostrar que la caída de presión en el transporte de crudo Piraña, desde la Zona de pontones hasta la Zona de Tanques, es menor a 2.81 Kg/cm² ó 40 psi.

Tabla 4.5. *Caída de presión por transporte de crudo Piraña, desde zona pontones hasta tanque I-D3 – Estación 1 del ONP.*

Producto		Piraña	
API@40°C		20.80	
Grav. Esp.		0.93	
Densidad(lbm/ft3)		57.98	928.76 kg/m3
Viscosidad (cP)		187.51	201.82 cSt@40°C
Longitud que ocupa en el ducto (Km)		1.915	
Condicion operacional			
Caudal (Bpd)		10,904	454 bph
Temp. Inicial (I)		104	
Temp. final (F)		104	
Regimen		Laminar	
Cálculo Caída de Presión			
	Presión	Presión Inicial	
Pinicial (Psig)	40.00	40.00	
Pinicial (kg/cm ²)	2.81	2.81	
Pfinal (Psig)	30.46	30.46	
Pfinal (kg/cm ²)	2.14	2.14	
ΔP (Psig)	9.54	9.54	
ΔP (kg/cm ²)	0.67	0.67	
Tuberia			
Diametro interno(Pulg.)		Variable	
Rugosidad tuberia (Pulg.)		0.0018	
Material tub.		API 5L GR X52	
Sy (psi)		52000	
Esp.,tub(Pulg.)		Variable	
Dia-externo(Pulg.)		Variable	

Elaborado por: Autor.

Tabla 4.6. Pérdidas secundarias por accesorios en el tramo Pontón 4 – Tanque 1-D3.

ACCESORIOS	CANTIDAD DE ACCESORIOS POR TUBERIAS		
	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"
	8	10	24
Filtro			
Válvula Check			
Válvula de Compuerta	3	3	
Válvula de Verif. Girat			
Válvula de Verif. Bola			
Válvula de Mariposa			2
Válvula de Pie - Vástago			
Válvula de pie - Bisagra			
Codo Estandar 90°	2	7	
Codo Roscado 90°			
Codo Radio Largo 90°			5
Codo Estandar 45°			5
Vuelta Cerrada en Retorno			
T Estandar con Flujo Directo			2
T Estandar con Flujo Lateral			
CAUDAL	ΔP (psi)		
	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"	TRAMO Φ"
BPH	8	10	24
454	0.223125212	0.316850781	0.338059367
ΔP (psi) Total			
Tramo			
Pontón 4 - Tanque 1D1			
0.87803536			

Elaborado por: Autor.

Según los resultados obtenidos, el crudo Piraña puede descargarse, sin ningún inconveniente, ya que tiene una caída total de 10.42 PSI ó 0.73 Kg/cm², menor a los 2.81 Kg/cm².

Su caída de presión es menor que el Yanayacu, ya que el Piraña es un tipo de crudo más ligero (menor viscosidad), en comparación con los dos anteriores, lo que ocasiona menores pérdidas por fricción. Cabe precisar que el crudo Piraña se descarga en un periodo de 20.62 horas, en promedio (tabla 3.5).

4.5. Simulación hidráulica de crudo Los Ángeles (RCEP)

4.5.1. Consideraciones para el cálculo

- Se considera que la descarga se realiza en el Pontón N° 4, de modo que la longitud aproximada de la tubería de descarga es de 1.7 Km, siendo 70 metros de tubería de 8" (desde pontones hasta recepción pontones) y 1618 m de tubería de 10" (desde recepción de pontones hasta la zona de válvulas MOV's).
- El crudo Piraña, llega hasta el **Tanque 1D2**. Se considera una longitud de tubería adicional de 124.61 metros y 24" de diámetro (Según Plan de Sugerencias, anexo C), desde el manifold (Zona MOV's) hasta dicho tanque.
- El caudal al que se bombea hasta la zona de tanques es **667.52 barriles/hora**.
- El crudo Yanayacu, tiene una viscosidad de **2.83 cSt@40°C** y un grado **API de 44**.
- Los tanques de almacenamiento tienen su entrada de crudo en la parte inferior de estos. Por lo que no se considera caída de presión por gravedad.

- La presión de descarga de la bomba es 2.81 Kg/cm² y la presión de succión es 0.3 Kg/cm².
- Para el cálculo de las pérdidas secundarias, se toman datos del anexo D, donde se observa las longitudes equivalentes de los accesorios que existen en la línea de descarga de crudo de la Estación 1.
- Se considera que el flujo es incompresible y se encuentra en el régimen permanente.
- Se considera propiedades uniformes en cada sección donde el fluido cruza la superficie de control.
- El área de cada sección es plana y perpendicular al vector velocidad del fluido de trabajo.
- El cambio en la energía cinética y potencial por unidad de masa se considera insignificante respecto de otros términos presentes.

4.5.2. Resultados

En las tablas 4.7 y 4.8, se muestran los resultados finales en términos generales del cálculo hidráulico, sin embargo el anexo E.4, se muestran los resultados de una forma más detallada.

El objetivo del siguiente cálculo es demostrar que la caída de presión en el transporte de crudo Los Ángeles, desde la zona de pontones hasta la zona de tanques, es menor a 2.81 Kg/cm² ó 40 psi.

Tabla 4.7. *Caída de presión por transporte de crudo Los Ángeles, desde zona pontones hasta tanque 1-D2 – Estación 1 del ONP.*

Producto		Los Angeles	
API@40°C			44,00
Grav. Esp.		0,81	
Densidad(lbm/ft3)		50,31	805,98 kg/m3
Viscosidad (cP)		2,28	2,83 cSt@40°C
Longitud que ocupa en el ducto (Km)		1,815	
Condicion operacional			
Caudal (Bpd)		16.020	668 bph
Temp. Inicial (I)		104	
Temp. final (F)		104	
Regimen		Turbulento	
Cálculo Caída de Presión			
	Presión	Presión Inicial	
Pinicial (Psig)	40,00	40,00	
Pinicial (kg/cm2)	2,81	2,81	
Pfinal (Psig)	36,98	36,98	
Pfinal (kg/cm2)	2,60	2,60	
ΔP (Psig)	3,02	3,02	
ΔP (kg/cm2)	0,21	0,21	
Tuberia			
Diametro interno(Pulg.)		Variable	
Rugosidad tubería (Pulg.)		0,0018	
Material tub.		API 5L GR X52	
Sy (psi)		52000	
Esp.,tub(Pulg.)		Variable	
Dia-externo(Pulg.)		Variable	

Elaborado por: Autor.

Tabla 4.8. Pérdidas secundarias por accesorios en el tramo Pontón 4 – Tanque 1-D2.

ACCESORIOS	CANTIDAD DE ACCESORIOS POR TUBERIAS		
	TRAMO Φ'' 8	TRAMO Φ'' 10	TRAMO Φ'' 24
Filtro			
Válvula Check			
Válvula de Compuerta	3	3	
Válvula de Verif. Girat			
Válvula de Verif. Bola			
Válvula de Mariposa			2
Válvula de Pie - Vástago			
Válvula de pie - Bisagra			
Codo Estandar 90°	2	7	
Codo Roscado 90°			
Codo Radio Largo 90°			1
Codo Estandar 45°			5
Vuelta Cerrada en Retorno			
T Estandar con Flujo Directo			2
T Estandar con Flujo Lateral			
CAUDAL	ΔP (psi)		
	TRAMO Φ'' 8	TRAMO Φ'' 10	TRAMO Φ'' 24
BPH			
668	0,083814337	0,098604941	0,038908457
ΔP (psi) Total			
Tramo			
Pontón 4 - Tanque 1D1			
0,221327735			

Elaborado por: Autor.

Según los resultados obtenidos, el crudo Los Ángeles puede descargarse, sin ningún inconveniente, ya que presenta una caída de presión total de 3.24 PSI ó 0.23 Kg/cm².

Presenta un caudal de bombeo alto, sin embargo su caída de presión es muy baja, debido a que es el tipo de crudo más liviano que se bombea, presentando una viscosidad de tan sólo 2.8 cSt@40°C, es por ello también, que presenta unas pérdidas secundarias relativamente bajas.

Cabe precisar que el crudo Piraña se descarga en un periodo de 14.75 horas, en promedio (tabla 3.5).

Habiendo realizado las simulaciones hidráulicas de cada una de las descargas de crudo, se puede observar que no habría problemas en la descarga de crudo en la Estación 1 del ONP.

Es así, que la implementación de un brazo de carga en la zona de pontones, se debería realizar para complementar una operación eficaz con una operación segura, tanto para el personal operativo como para el medio ambiente.

4.6. Recomendaciones para la descarga de crudo

En el punto 4.2 a 4.5, se observa que el proceso de descarga de crudo se llevará a cabo correctamente, desde el punto de vista operativo. Sin embargo, este proceso es muy lento, retrasando las operaciones en el oleoducto y conllevando a un mayor consumo de combustible de las motobombas utilizadas en la descarga.

De modo que la principal recomendación, sería reducir los tiempos de descarga de crudo en aproximadamente, un 50%, para ello sería necesario realizar las siguientes acciones:

- Duplicar el flujo o caudal de bombeo.
- Se recomienda el cambio de las bombas IMO, por unas de mayor potencia (implica mayor presión de succión y descarga y mayor caudal de bombeo).
- A pesar de que el cambio de tubería no es necesario, se recomienda cambiar el tramo de tubería de 8 pulgadas por un tramo de mayor diámetro. Incluso la tubería de 10 pulgadas podría cambiarse por una de mayor diámetro, ya que según las simulaciones hidráulicas anteriores, las menores pérdidas se dan en la tubería de 24 pulgadas.
- Si se diera el cambio de tubería, a una de mayor diámetro, se tendría que solicitar a las empresas privadas, aumentar el diámetro del Manifold de conexión de sus barcas, hasta el nuevo diámetro.
- Aumentando el diámetro de la tubería y del Manifold, también se aumentaría el diámetro del brazo de carga. Por lo que, se recomienda que se implemente un brazo de carga hidráulico, ya que según algunos proveedores de estos equipos, su manejo de forma manual es recomendable hasta 8 pulgadas; en adelante, se recomendaría un brazo hidráulico, con control remoto.

Para validar estas recomendaciones, se demuestra mediante cálculos que el cambio de bomba debería realizarse, si lo que se desea es duplicar el caudal de bombeo.

En las tablas 4.9 y 4.10, se presentan los resultados de una simulación hidráulica, en la cual se duplica el caudal de bombeo en la descarga de crudo Residual Iquitos (ya que, éste fue el que presentó la caída de presión más alta). Para ello, se toman ciertas consideraciones:

- Se considera que la descarga se realiza en el Pontón N° 4, de modo que la longitud aproximada de la tubería de descarga es de 1.69 Km, siendo 70 metros de tubería de 8" (desde pontones hasta línea 3) y 1618 m. de tubería de 10" (línea 3, hasta la zona de válvulas MOV's).
- El crudo Residual Iquitos, llega hasta el Tanque 1D1. Se considera una longitud de tubería adicional de 113.24 metros y 24" de diámetro (Según Plan de Sugerencias, anexo C), desde el Manifold (Zona MOV's) hasta dicho tanque.

- El caudal al que se bombea hasta la zona de tanques es **1680 barriles/hora**.
- El crudo Residual, tiene una viscosidad de **320.7 cSt@40°C** y un grado **API de 22.8**.
- Para el cálculo de las pérdidas secundarias, se toman datos del anexo D, donde se observa las longitudes equivalentes de los accesorios que existen en la línea de descarga de crudo de la Estación 1.
- Los tanques de almacenamiento tienen su entrada de crudo en la parte inferior de estos. Por lo que no se considera caída de presión por gravedad.
- Se considera que el flujo es incompresible y se encuentra en el régimen permanente.
- Se considera propiedades uniformes en cada sección donde el fluido cruza la superficie de control.
- El área de cada sección es plana y perpendicular al vector velocidad del fluido de trabajo.
- El cambio en la energía cinética y potencial por unidad de masa se considera insignificante respecto de otros términos presentes.

Tabla 4.10. *Caída de presión por transporte de crudo Los Ángeles, desde zona pontones hasta tanque 1-D1 – Estación del ONP, duplicando el caudal de bombeo.*

Producto		Residual Iquitos	
API@40°C		22,80	
Grav. Esp.		0,92	
Densidad(lbm/ft3)		57,22	916,72 kg/m3
Viscosidad (cP)		294,16	320,77 cSt@40°C
Longitud que ocupa en el ducto (Km)		1,8	
Condicion operacional			
Caudal (Bpd)		40.320	1.680 bph
Temp. Inicial (I)		104	
Temp. final (F)		104	
Regimen		Laminar	
Cálculo Caída de Presión			
	Presión	Presión Inicial	
Pinicial (Psig)	40,00	90,87	
Pinicial (kg/cm2)	2,81	6,39	
Pfinal (Psig)	-15,24	35,63	
Pfinal (kg/cm2)	-1,07	2,51	
ΔP (Psig)	55,24	55,24	
ΔP (kg/cm2)	3,88	3,88	
Tuberia			
Diametro interno(Pulg.)		Variable	
Rugosidad tuberia (Pulg.)		0,0018	
Material tub.		API 5L GR X52	
Sy (psi)		52000	
Esp.,tub(Pulg.)		Variable	
Dia-externo(Pulg.)		Variable	

Elaborado por: Autor.

En la tabla 4.10, se puede observar que basta con las pérdidas de carga primarias, para que se requiera una nueva bomba, ya que con la presión de descarga actual no podría bombear, además de que no ha sido diseñada para bombear a un caudal tan alto por ser una bomba de baja potencia.

Se podrá observar que las pérdidas secundarias también aumentarán, ya que éstas dependen del caudal al que se bombea.

Tabla 4.11. *Pérdidas secundarias por accesorios en el tramo pontón 4 – Tanque 1-D1.*

ACCESORIOS		CANTIDAD DE ACCESORIOS POR TUBERIAS		
		TRAMO Φ'' 8	TRAMO Φ'' 10	TRAMO Φ'' 24
Filtro				
Válvula Check				
Válvula de Compuerta		3	3	
Válvula de Verif. Girat				
Válvula de Verif. Bola				
Válvula de Mariposa				2
Válvula de Pie - Vástago				
Válvula de pie - Bisagra				
Codo Estandar 90°		2	7	
Codo Roscado 90°				
Codo Radio Largo 90°				1
Codo Estandar 45°				5
Vuelta Cerrada en Retorno				
T Estandar con Flujo Directo				2
T Estandar con Flujo Lateral				
CAUDAL	ΔP (psi)			ΔP (psi) Total
	TRAMO Φ'' 8	TRAMO Φ'' 10	TRAMO Φ'' 24	Tramo Pontón 4 - Tanque 1D1
BPH				
1.680	1,294296286	1,837976015	1,454936951	4,587209252

Elaborado por: Autor.

En total, se obtiene una caída de presión total de 59.84 PSI ó 4.2 Kg/cm², por lo que el uso de una motobomba de mayor potencia, sería imprescindible con el fin de disminuir los tiempos de bombeo de crudo, lo cual beneficiaría a las empresas privadas y a Petroperú. En el anexo E.5, se muestra los resultados de esta simulación.

Conclusiones

- El presente proyecto concluye en que la implementación de brazos de carga aumentará la seguridad del proceso de descarga de crudo, lo que complementa el correcto funcionamiento de los equipos de bombeo, que se encuentran en la zona de pontones de la Estación 1 del Oleoducto Nor Peruano (ONP).
- El brazo de carga a implementarse debe ser un brazo de carga manual, debido a que el diámetro de las tuberías de conexión es de 8", esto con el fin de no realizar un gasto innecesario para la empresa. Además los sistemas de juntas giratorias de los brazos de carga, hacen que su manipulación sea fácil para la manipulación de los operadores.
- Los brazos de carga, por lo general son fabricados de acero inoxidable, por el ambiente salino al que se encuentran trabajando, sin embargo, para este proyecto no es necesario, basta con ser de acero al carbono, ya que el clima de la Estación 1 es templado y no llega a ser salino, lo que hace muy poco probable la corrosión en estos equipos.
- Los brazos de carga deben presentar un sistema de liberación de emergencia, lo que garantiza el cuidado del medio ambiente, donde se lleva a cabo el proceso de descarga de crudo, ya que un derrame de crudo, implicaría daños a la amazonía peruana y conllevaría a una fuerte sanción para Petroperú.
- Los brazos de carga que operen en la zona de pontones, deben presentar un rango vertical mínimo de 1 metro y máximo de 5 metros. Además, su desplazamiento horizontal debe llegar a ser mayor a 6 metros, frontalmente, y 2.3 metros, lateralmente. Esto con el fin de que el brazo de carga pueda ser capaz de conectarse con el manifold de las diversas barcazas que arriban.
- El MER de este proyecto, por cada brazo de carga, es 103,700.00 €.

- Los brazos de carga que serían implementados en la zona de pontones, deben tener un costo muy aproximado al MER, es así que la propuesta económica que cumple con este requisito es la propuesta de Kanon Loading Equipment.
- Los brazos de carga deben presentar especificaciones técnicas y de diseño, de acuerdo a la necesidad de este proyecto, las propuestas de las empresas son muy parecidas en este aspecto, sin embargo Kanon Loading Equipment, presenta un sistema ERC, el cual es uno de los puntos importantes de esta evaluación.
- Se concluye que la mejor opción para la implementación de brazos de carga es la instalación de “*MARINE LOADING ARM, TYPE MLA260 SPECIAL DESIGN SIZE 8 PULG.*”, de la empresa Kanon Loading Equipment.
- Según las comprobaciones hidráulicas realizadas, la situación más crítica se da cuando se descarga crudo Residual Iquitos, desde el Pontón N°4 hasta el tanque 1D-1 y con un flujo de bombeo de 830 BPH, llegando a tener una caída de presión total de 2.1 Kg/cm², la cual es menor que la presión de descarga de la bomba IMO, por lo que el proceso de descarga se realizaría correctamente.
- Según los cálculos hidráulicos, todos los crudos presentan un flujo laminar, excepto la descarga del crudo Los Ángeles, debido a su baja viscosidad que presenta de 2.83 cSt@40°C. Además por su baja viscosidad, su descarga presenta las menores pérdidas de presión.
- Los procesos de descarga en la Estación 1, pueden llegar a durar 19 horas en promedio, incluso más de un día. Es por ello, que se recomendaría que se reduzca estos tiempos, duplicando el caudal de bombeo, lo que conlleva a un ahorro de combustible por más de 10 horas diarias.
- Para duplicar el flujo o caudal de bombeo, es necesario el cambio de la motobomba (Waukesha – IMO), ya que ésta no cuenta con la suficiente potencia para realizar el proceso de descarga a un caudal de 1680 BPH.

Bibliografía

- [1] PETROPERÚ S.A. *Manual del Diseño Definitivo del Oleoducto Nor Peruano*.
- [2] PETROPERÚ S.A. *Specifications for Construction of Pump Stations and Tank Farms*.1974.
- [3] PETROPERÚ S.A. *Manual de operación y puesta en marcha – Departamento de Operaciones*.1984.
- [4] PETROPERÚ S.A. *Manual de Operación de Estación de Bombeo N°1 del Oleoducto Nor Peruano*. 2009.
- [5] Informe Técnico. *Ingeniería extendida del pro*
- [5] Mendoza Cabeza, Flor de María. (2012).*Informe de Pasantía Ing. “Implantación del programa de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad en los brazos de Carga FMC”*. Universidad Simón Bolívar.
- [6] RerequeoCandia, Milton Eduardo. (2009).*Tesis Ing. “Procedimientos Generales de las Operaciones de Carga y Descarga de un buque Tanque Petrolero”*. Universidad Austral de Chile.
- [7] Emco Wheaton. *Distribution Loading Arms*.
- [8] Kanon Loading Equipment. (2016).*Marine Loading Arms – Kanon Loading Equipment*. <http://kanon.nl/marine-loading-arms/>.
- [9] Requena Flores,Rhildo. (2003)*Tesis Ing. “Programa de comportamiento hidráulico en oleoductos para la selección de tubería y equipo especial”*. Universidad de Piura.
- [10] Fernández Díez, Pedro. *Bombas, Capítulo 4: Bombas Volumétricas*. <http://files.pfernandezdiez.es/Bombas/PDFs/BOMBAS06.pdf>.
- [11] Marcelo Aldana, Daniel. *Bombas volumétricas*. Apuntes del curso Máquinas Hidráulicas. Universidad de Piura.
- [12] Cengel, Y. A., &Cimbala, J. M.*Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones (2da Edición)*. Nueva York: Mc Graw Hill.

Anexo A
Alternativas y cotizaciones propuestas para este proyecto

Anexo A.1
Kanon Loading Equipment

PETROPERUJr. Huánuco 218
Piura - Perú

Attn. : Ing. Francis P. Purizaca Pingo

Our ref. : Q1451102-Rev1-Co2

Subject : Quotation for the supply of Low Height Marine Loading Arms

KANON LOADING EQUIPMENT B.V.P.O. BOX 385 – 3840 AJ HARDERWIJK
EDISONWEG 27 – 3899 AZ ZEEWOLDE
THE NETHERLANDSINTERNET : WWW.KANON.NL

PHONE : +31 (0)36 – 521 9777

FAX : +31 (0)36 – 521 9770

E-MAIL : KANON@KANON.NL

BANK : ING BANK account 67.34.79.110

(IBAN) No.: (NL 14 INGB 0) 673479110

BIC.: INGBNL2A

REG.No : TRADEREGISTER LELYSTAD: 08013878

VAT.No : NL007705840B01

Zeewolde, januari 21, 2015

Dear Sir,

With reference to our recent visit to Estacion 1 – Petroperu the 08/12/2014 , we have pleasure submitting you our Revised quotation (+/-10%) for the supply of a special low height design marine loading arm for the handling of the products as specified in your inquiry.

We included a sufficient amount of spare parts in our delivery, free of charge to prove our confidence in the high quality of our products, detailed list to be decided during engineering stage.

Our quotation is based on a specific scope of supply and applicable working envelope (attached). Any change of scope and / or change in the working envelope (for instance changes in jetty or tidal data) resulting in different scope and / change in working envelope might influence both price and delivery.

The offered marine loading arms are of our self-supporting and special design (customize) which comply with the needs of the customer. The balancing system of the arm is made by the combination of a counterweight and a parallel mechanism. This particular design is suitable when the unloading of the ship is made by suction.

If there are any questions or remarks or if we can provide any additional information, please do not hesitate to contact undersigned.

Best regards,
KANON Loading Equipment BV

Manuel A. RieraSales Engineer
Tel. Nr.: +31 (0)36 5219777
E-mail: MAR@kanon.nl

Robin BootSales & Marketing Manager
Tel. Nr.: +31 (0)36 5219777
E-mail: RBO@kanon.nl

Why choosing KANON LOADING EQUIPMENT BV as your partner in Loading/ unloading and safety applications for your projects?

With over more than 32 years of experience in Loading/ unloading arms and safety items, we can offer the customer the following:

Kanon world wide

Kanon Loading Equipment is operating world wide through a well-chosen and trained web of agents, which represents the Kanon product in all their assets. Next to our two production facilities in the Netherlands to cover Europe, we have also one production facility in Malaysia (Kuantan) to cover the Middle east and far east region. These three facilities have the flexibility to cover the southern part of the African continent.

Partnership

Our main objective is to work with the customer as partner and not as only one of the many suppliers to finalise a project. Our experience is that this is the only way to build a relation between the Kanon organisation and the customer, and to prove that Kanon is the best choice to work with as your partner.

Flexibility

Kanon Loading Equipment is a small private owned Dutch company, with approx. 45 people employed in the office and approx. 30 people in production. Due to the fact that we are a small company we have short and direct lines in our organisation. For every project we have a dedicated project manager, that will be your contact person from the start of the project till the end up to commissioning of the project.

Quality

Our company is ISO9001/9002 certified by Lloyds, ensuring a well controlled quality system. Our staff is trained internally and externally to meet the right level of education and capabilities providing the best quality to all our customers in product and organisation.

KANON Service

Ease of handling, safety for operator and environment and reliable performance for many years, are the basics for the design of Kanon equipment. From the KANON head office in Zeewolde (Netherlands) all service jobs are scheduled and coordinated worldwide. Highly skilled and experienced service engineers are available to service and maintain customers equipment. They all have the required knowledge of hydraulics, pneumatics, mechanics and electronics. These service engineers each have a fully equipped service van at their disposal, including all necessary tools and spare parts. For some nearer or far destinations we will chose the most efficient way of travelling by air. Kanon is SCC (Safety Checklist Contractors) certified by Lloyds and our Service Engineers are each certified with both WA-1 and WA-2 (advanced safety training for staff personnel). Kanon can provide the following services: installation, commissioning, supervision, periodical inspection, survey maintenance, repair & modification and training on the job for operators and maintenance personnel.

Customers

Large chemical, petrochemical, pharmaceutical, oil, storage and food companies, like Akzo, DSM, Shell, Esso, BP, Total, Totalfina, Vopak, Cargill, Rhone Poulenc, ICI, Bayer, Uhde, Samsung, Hyundai, Petronas, Kemira, Conoco, Rohm and Haas, Enichem, Fortum, Neste, Statoil, unilever, Mars, European Juice Terminal and many others are using our excellent service and can depend on our experience, quality, reliability, support and high performance.

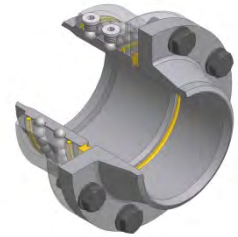
Contractors

Kanon, has worked together on many projects with contractors like, ABB Lummus, Rotary, Bechtel, Fluor Daniel, Foster Wheeler, Chiyoda, JGC, Hyundai, Amec, Tebodin, Comprimo, MW Kellogg Raytheon and many others.

SCOPE / DESIGN STANDARDS**Swivel Joints**

Our advanced swivel joint design includes the following features:

- * 4-point contact ball races ensuring light operation and large balls allowing high loads.
- * The product seal can be replaced without removing the balls.
- * Long life lubrication needing low frequency maintenance. (Only one check per year is recommended).
- * The function control device in the swivel joint will give visual indication of product leakage if this occurs at a very early stage, so timely measures can be taken to prevent damage to the swivel or environment.
- * Swivel joints are leakage free; one of our swivel joints once was tested at random with Helium (while heated and rotated) and proved to be tighter than a valve as stipulated under 'TA-Luft' (German environmental standard for ball valves).
- * Same diameter swivels are interchangeable.
- * The MLA design is for a total of 7 swivel joints each.

**Drawing package**

KANON procedure for drawing approval will be as follows:

- * Drawings will be submitted as per project planning, after receipt and acceptance of written purchase order.
- * Turnaround of the drawings by fax or e-mail within five working days from receipt. Drawings to be returned in one complete package.

Paint system

The 3-layer paint system recommended by International Paint that we offer as follows:

- * Shot blasted according SA 2½ (ISO 8501-1:1988)
- * 1st Layer 60 µm DFT two pack epoxy primer, Intergard 251,
- * 2nd Layer 100 µm DFT two pack high solid epoxy primer/finish, Intergard 475HS
- * Final Layer 80 µm DFT two pack Interthane 990, polyurethane finish
- * Total DFT : 240 µm. Colour final layer: RAL6018 or customer specified (RAL) colour.

Stress analysis

The marine loading arm is designed in line with OCIMF 3rd edition and ASTM and therefore the stresses will fall sufficiently within safety factors applicable. If however customer wants to have stress calculations to judge for themselves if KANON complies to these guidelines and rules, these calculations could be offered as an additional option.

Spare parts & special tools

No mayor spare parts are needed for the start up, because the loading arms are fully tested in our workshop. However, the fuses might blow when checking the electrical site connections and that is the sole reason for offering spare fuses. Specific, project related parts could be ordered from our stocking point in Zeewolde, The Netherlands. Kanon marine loading arms require minimal maintenance and all the product seals can be replaced without scaffolding or dismantling of the loading arm itself.

Structural loads on swivels joints

The swivel joints selected for application in the marine loading arm offered are designed by KANON Loading Equipment and made and tested in line with the OCIMF 3rd edition and fully capable to cope with structural loads. For this reason the materials of construction and its design are different from the specifications in the requisition.

The offered scope is based on following:

- Hardware as described and mentioned in this quotation.
- Drawings for approval, per fax, e-mail and/or hardcopy:
 - Design Data.
 - Configuration Drawing / Operating Envelope + Parts list.
 - Base load diagram.
 - Loading Arm Composition + Parts list.
 - 3.1; Material (of product wetted parts only) / Weld / NDT Location Map (when applicable).
 - Parts list / Swivel Joint Composition.
 - Drawings for approval in one of the following formats: Hardcopy (in 3-fold) or CD: .tif or .pdf.
- Operating and maintenance instructions in **English & Spanish** language in three-fold.
- Manufacturing report as per KANON standard in **English** language in three-fold
- **TEST AND INSPECTION as follows:**
 - Material certificates according EN10204-3.1
 - Hydrostatic test at 1,5 times design pressure.
 - Leak test with 0,5 bar air.
 - Welding test: 100% X-ray of product wetted circumferential welds of the product piping.
 - Test certificates available when applicable.
 - o 3rd party inspection.
 - o Dye penetrant: 10% of structural welds attached to the product piping.
 - o Magnetic particle test: All attachment welds of product piping.
- Single Point Contact, during the entire project, by one of our experienced, dedicated project managers.
- Inspection and acceptance of manufactured equipment by KANON Inspector.
- KANON Inspections are indicated as per Test and Inspection Plan.
- Equipment offered is fully suited for the required application. Since we offer as per KANON standards/experience, full compliance as per customer technical specifications, and / or specific customer requirements with regard to document approval and shipping / packing procedures can be offered separately as an option.
 - o Customer Decal / Text Box, special document numbering inserted in drawings.
 - o Data Sheets of Components, recognised as standard parts (catalogue parts); make and type are already mentioned in the parts list belonging to the configuration drawing.
 - o Other inspections than quoted / standard by the KANON inspector. In case customer requires are representative visit during KANON inspection, this can be agreed upon.
 - o Tests, procedures and qualifications other than indicated.
 - o Drawings, parts lists, operating / maintenance instructions in any other foreign language than English or Dutch.
- Means included in the scope o Means not included in the scope

SCOPE DESCRIPTION

Item 1.0

3 off

MARINE LOADING ARM, TYPE MLA260 SPECIAL DESIGN SIZE 8",

According 1999 O.C.I.M.F. standards. The Marine Loading Arm is made of carbon steel manually operated.

Principle as per following description:

MLA Section		Length
- Standpost / Riser	=	2,500 mm.
- Inboard Arm	=	5,250 mm.
- Outboard Arm	=	3,500 mm.

OPERATING ENVELOPE **Q1451102LHght Rev3**

- a. Product: Hydrocarbons
- b. Design temperature: 60°C
- c. Design pressure: 18 barg
- d. Connection ship side product: 8" ANSI B16.5 150# WN RF flange
Connection land side product: 8" ANSI B16.5 150# WN RF flange
- e. Balancing system: Single Counter weight mechanism
Mechanically linked
- f. Swivel Joints: According bulletin **SAN812**
- g. Materials:
 - Product wetted parts: Carbon steel
 - Sealing surface inner body swivel joint: Stainless steel
 - Swivel product seals: PTFE/C
 - Construction parts: Carbon steel
- h. Surface preparation:
 - Carbon steel parts: 3-layer epoxy paint system
 - Other accessories included: as indicated below:

1. Drain size 2" with manual valve at triple swivel assembly and at riser.
2. Store position mechanically locking support.
3. Earthing lug at base of the riser.
4. Lifting lugs.
5. Stainless steel nameplate.
6. Foundation template
7. Anchor bolts.
8. Electrical isolation flange Bulletin **264010**
9. Manual QC/DC on product line, size 8", 150#, CS Bulletin **264028**

Item 2.0**1 off**

TEST AND INSPECTION for the offered arms, as follows:

- Material certificates of product wetted parts according EN10204-3.1.
- Hydrostatic test at 1,5 times design pressure.
- Leak test with 0,5 bar air.
- Welding test: 100% X-ray of product wetted circumferential welds of the product piping.

Item 2.1**1 off**

SHOP TEST and erection of one typical marine loading arm for each different dimension/diameter/type offered, as per Kanon standard test procedures. Saving time thus money during field erection and commissioning. The arms will be functional tested.

Item 3.0**1 off**

EX-WORKS DELIVERY AT MANUFACTUERS PLACE, BIDDINGHUIZEN THE NETHERLANDS.
The Marine Loading Arms will be packed in 2x 40' OT ISO container, according Incoterms 2010 edition.

Item 3.1 (Additional Cost)**1 off**

DDU ESTACION 1 PETROPERU IN SARAMURO (PERU) DELIVERY

Item 4.0

AGAINST PER DIEM RATE for a total of 10 working days plus 4 travel days, according the service rates for hours and expenses 2014.

SUPERVISION DURING INSTALLATION OF MARINE LOADING ARMS, by an experienced Kanon Field Supervisor comprising of:

- Supervision during erection and installation of marine loading arms.
- On site training of local operators (in English language).
- Commissioning.
- Final acceptance.
- Travelling time.
- Travelling expenses

Working days means absence from Kanon Loading Equipment B.V. Zeewolde, Holland, based on 10 working hours per day. If due to any circumstances a working day should exceed 10 hour limit, or if extra working days are required, this will be charged against service rates 2014.

Jetties must be delivered clean and fully prepared (i.e. power, air and water supply must be present).

Our skilled supervisors are trained and all have the required knowledge of hydraulics, mechanics, pneumatics, electronics and electronic control systems. Because the loading arms are delivered fully assembled including hydraulic piping and cabling terminating at base of the riser, only the connecting wiring and piping has to be made.

We estimate the time to erect one arm two to three hours maximum and required time including the electrical and hydraulic connections, followed by commissioning and staff training totalling 10 days. Training of operators max. 1 day according the Kanon IOM (Installation, operating & maintenance manual). Any additional training can be met under a separate agreement. Two (2) local workers are needed; one hydraulic fitter and one mechanic.

Supervision during installation is exclusive of:

- Required lifting devices / cranes.
- Supply of electrical wiring
- Supply and Installation of cable trays.
- Installation of hydraulic piping and electrical wiring on the jetty.
- Any placing of or adjusting of foundations.
- Probable permits.

Commissioning can be ordered at the same conditions as the supervision. It usually takes a separate visit, however it is possible to perform the commissioning immediately after the Site Acceptance Test in case so agreed with the client.

Client to prepare the foundation, anchors and cable trays so as to achieve a quick and smooth installation of the loading arms and control system.

PROJECT SUMMARY SHEET

PROJECT SUMMARY SHEET				
Client	Petroperu			
File No.:	Q1451102 Rev0-Co1			
Date	21-jan-15			
Item	Qty	Description	Price Each	Total price Manually operated
<u>Main Item</u>				
1.0	3	MLA260 SPECIAL DESIGN, size 8" , 150# , 2,500 x 5,250 x 3,500mm. Carbon Steel, Manually operated provided with manual QC/DC	108.000	324.000
<u>General</u>				
2.0	3	Test & Inspection	3.500	10.500
2.1	1	Shop test	5.700	5.700
3.0	3	Packing & EXW Delivery at Factory (Biddinghuizen, The Netherlands)	3.000	9.000
3.1	1	Additional Cost for DDU Estacion 1 Saramuro Delivery (PERU)	Price To follow	
TOTAL MLA PRICE DELIVERY EX-WORKS AT FACTORY				EUR 349.200
4.0	1	Supervision for installation of MLA's, per diem rate	AS PER DIEM RATE 2014	
Please note that the given prices are calculated on this specific scope. A change of the scope might influence these prices.				

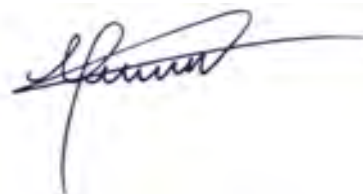
TERMS OF DELIVERY AND PAYMENT

- Prices : In EUR, EXW, packed, excluding taxes.
- Payment : 50% Down payment, within 15 days after invoice date.
30% Against approval of drawings within 15 days after invoice date.
20% To be paid against Certificate of Delivery Ex Works (packed), within 15 days after invoice date.
- Late payments will immediately terminate the proceeding of the project.
- All invoices will be couriered.
- Delivery time : To be agreed upon, approx. 8 - 10 months.
- Delivery : DDU Estacion 1 Petroperu (Peru), packed in 40' containers, in accordance with Incoterms 2010 edition
- Guarantee : The terms of MLA guarantee as detailed in our general sales conditions are applicable for a period of 18 months from the date of installation, or for a period of 24 months from the date of shipment, whichever comes first.
- Our guarantee is subject to erection and commissioning by a KANON supervisor. Our warrantee is neither valid for components that are subject to tear and wear nor for damages through faulty operation or lack of maintenance.
- General : This offer is based on the number of units requested and specifications, if either of these parameters is changed, subject to contract, we reserve the right to review our prices.
- Validity : The prices quoted are valid for 30 days,
- Terms and delivery time subject to final negotiation at time of order.

All offers made by us, orders placed with us and contacts made with us shall be subject to the General conditions of Contract for Enterprises in the Steel and Synthetics Manufacturing and Technology Industry, published by Employers Association CWM and filed at the Registry of the District Court in Rotterdam on 3rd June 1992 under number 427/92. Please note that no other general conditions will be recognised by us unless communicated in writing.

Kanon Loading Equipment B.V.

Manuel A. Riera
Sales Engineer



- I Certificates, covering material test of product lines:
- o No certificates required
 - **Material certificate in accordance with EN10204-3.1(*)**
 - o Test certificate in accordance with EN10204-3.1.C (*)
 - o Certified by:
 - Dutch Stoomwezen
 - Client's source (at client's costs)
 - Kanon inspector
- (*) of the product wetted parts only
- II Inspection witnessed by:
- **Kanon inspector**
 - o Third party by a party of international repute i.e. Lloyds, Veritas, Dutch Stoomwezen or Imek
 - o Stoomwezen
 - o Customer representative
- III Welding test of product and vapour lines:
- o No welding test required
 - **100% X-ray of product wetted circumferential welds of the product piping.**
 - o Longitudinal seams %
 - o Y-ray
 - o Dye penetrant: 10% of structural welds attached to the product piping
- IV Leakage test:
- **Hydrostatic test at 1,5 times the design pressure for 30 minutes**
 - **Pneumatic test at 0,5 bar**
 - o Customer representative
- V Operational test:
- **At manufacturer's works**
 - o At customers work
- VI Documents as per Kanon Test & Inspection Plan:
- **Operating & Maintenance manuals in three (3) fold, English & Spanish language**
 - **Manufacturing reports in three (3) fold & English language**
 - **WPR/PQR (and weld test records)**
 - **Drawings for approval in three (3) fold & English language**
 - **Test certificates in three (3) fold & English language**
 - o Stress calculation report (when applicable)
- Means included in the scope o Means not included in the scope

SUB-SUPPLIERS (Probable)

SUPPLIER

EQUIPMENT

Marine loading arm:

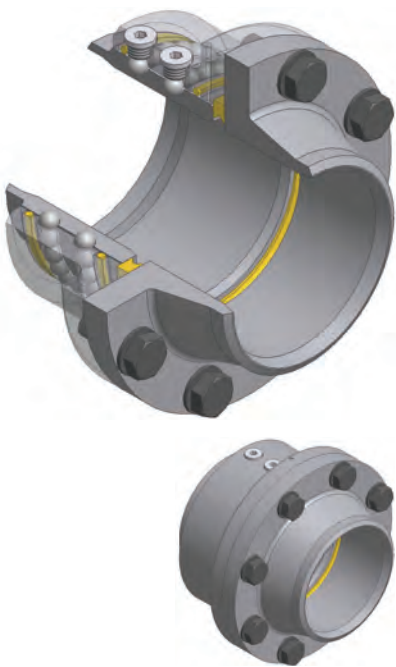
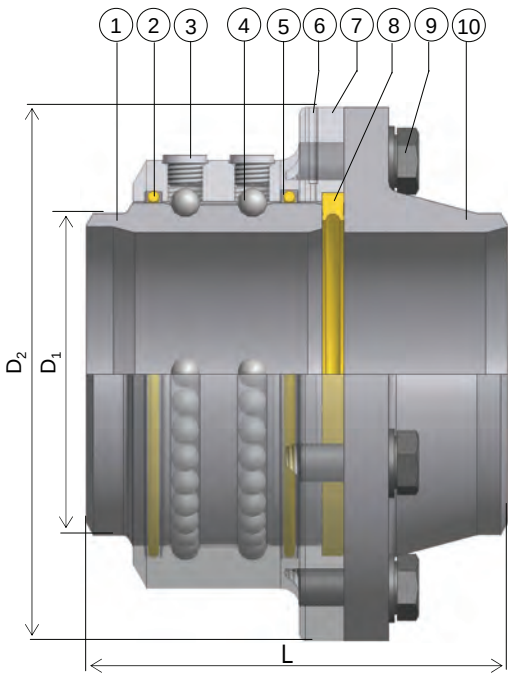
Van Bilsen Ermelo (NL)	Machine shop for swivel joint body parts
ASP Nunspeet (NL)	Workshop for welding and assembling loading arms
GEMA Biddinghuizen (NL).....	Workshop for welding and assembling loading arms
KANON Malaysia (Mal).....	Workshop for welding and assembling loading arms
Kitz, Gefa, SBV (EU)	Valves
Scheaffler (NL) & IMO Momentlager (DE).....	Bearings

Swivel Joint SAN812

Multi purpose
Bulletin SAN812

The SAN812 swivel joint is a KANON standard swivel joint, suitable for a wide range of products used in many loading arms.

- 1 INNERBODY
- 2 DUST SEAL
- 3 PLUG
- 4 BALL
- 5 BALLRACE SEAL
- 6 FUNCTION CHECK
- 7 OUTERBODY
- 8 PRODUCT SEAL
- 9 HEX. SCREW
- 10 FLANGE



D	D ₁	D ₂	L	Weight [N]
6"	168.3	280	220	360
8"	219.1	343	230	450
10"	273.0	407	238	610
12"	323.9	483	250	1000
16"	406.4	597	280	1540
20"	508.0	699	300	2300

Specific features:

- High load bearing capability due to:
 - 4 point contact ball races
 - large balls
- The dual seal design protects the ball race chamber against penetration of fluid.
- Dust seal to prevent soiling.
- Long life lubrication, for minimum of maintenance.
- Double ball races.
- Function check, between product and ball race seal.
- Replacing the product seal can be done without removing the balls.
- The seal faces of the innerbody and the flange are provided with a polished stainless steel surface for long and excellent sealing.
- Max. operating pressure : according ANSI 150# rating
- Temperature range : -70°C up to +310°C

Materials:

- Outerbody : S355, AISI 316, AISI304L, 34CrNiMo6, Low temp. carbon steel.
- Innerbody : AISI 316L, AISI 304L, LT, Duplex Stainless Steel.
- Flange : ASTM A-105, AISI 316L, AISI 304L, Low temp. carbon steel.
- Product seal : PTFE-C, Viton, UHWM-PE, FDA approved PUR, NBR.

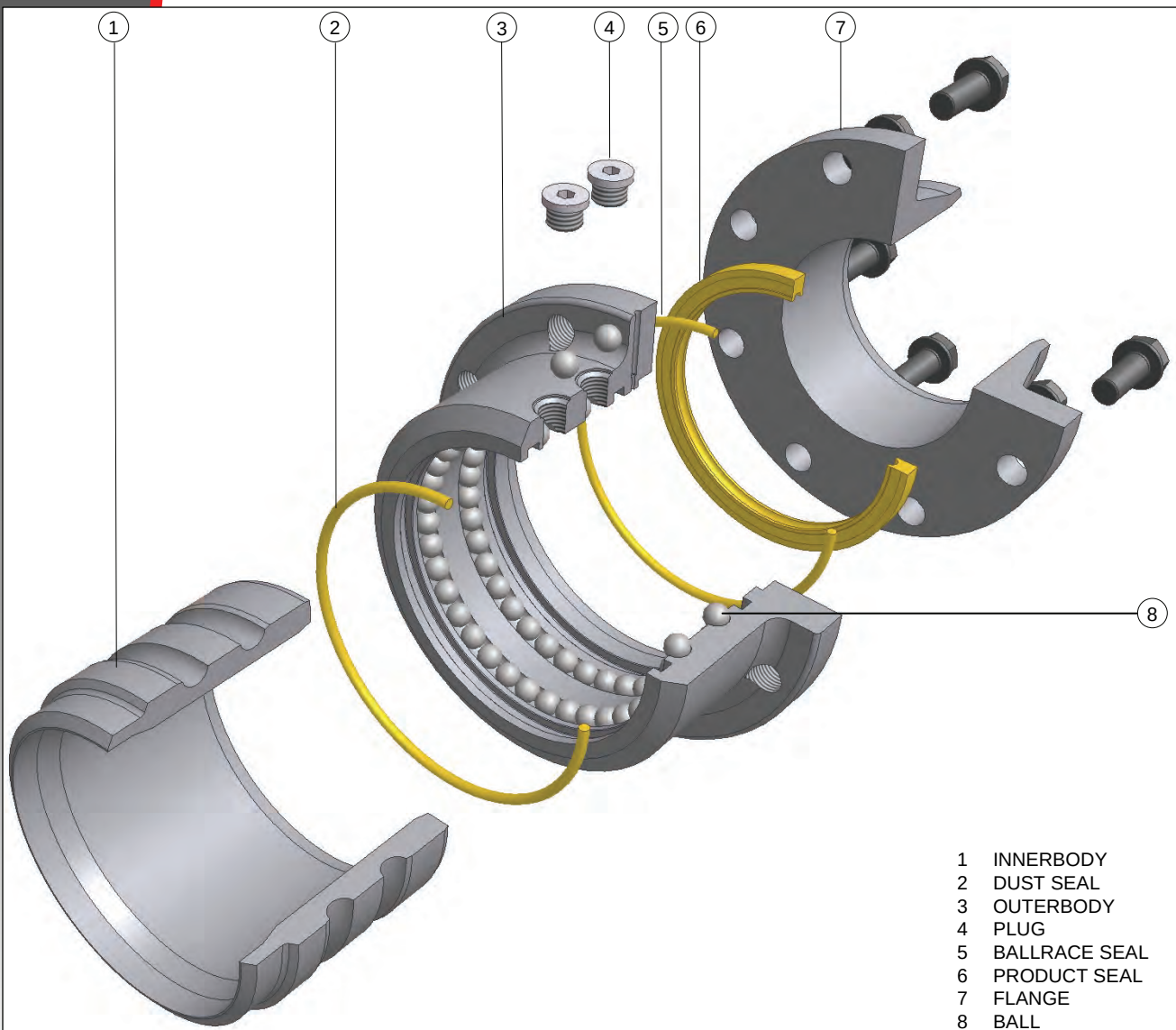
Options:

- Jacketing.
- Purge connection.
- Hastelloy seal face.
- Flanges on both sides.
- Single ball race (SAN815)
- Larger balls (SAN810)
- ANSI 300# rating (SAN 813)
- Extra holes in outerbody (SAN 814)

Swivel Joint SAN812

Multi purpose
Bulletin SAN812

The unique Kanon swivel joint, as used on all Marine Loading Arms, is manufactured using Super Duplex material for the inner body and 34CrNiMo6 for the outer body. The hardness of these materials and their ability to be machined to extremely fine tolerances eliminates the need for heat hardening of the material from which the swivel joint is made or the insertion of hardened shells for the ball races. Due to the special shape of the ball races Kanon swivel joints are capable of withstanding up to twice as much load as competitive swivel joints. - If a material is heat hardened and then subsequently welded during fabrication there is a strong possibility that the heat hardening will be reversed, the shape of the ball races deformed or the hardened shells distorted. All of these three factors can adversely effect the performance of the swivel joint and lead to premature failure. Furthermore the process of heat hardening can invalidate the material certification that applied prior to the process.

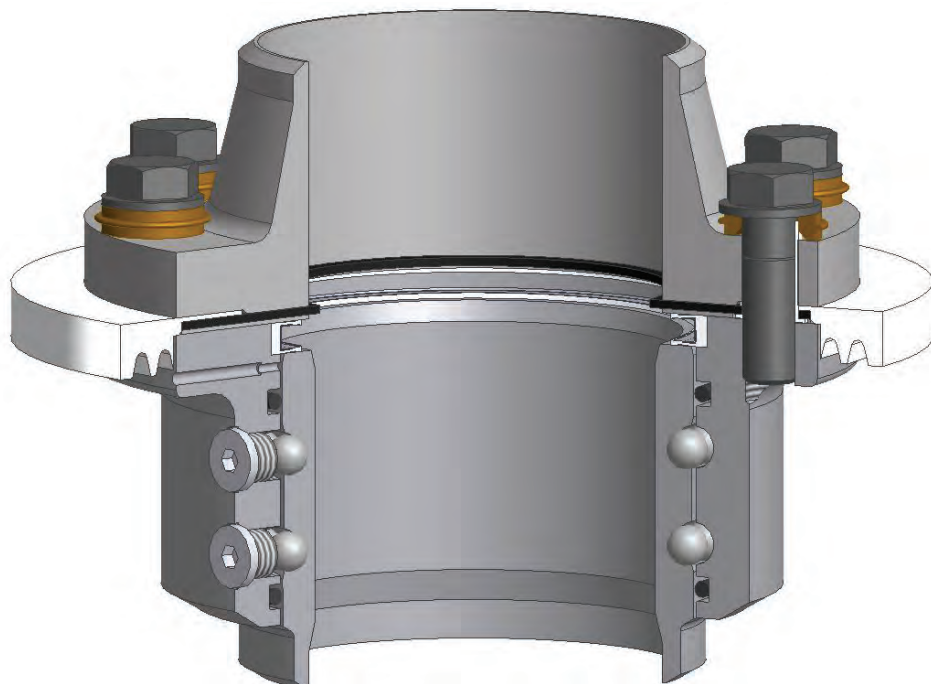


Isolating Flange Assy

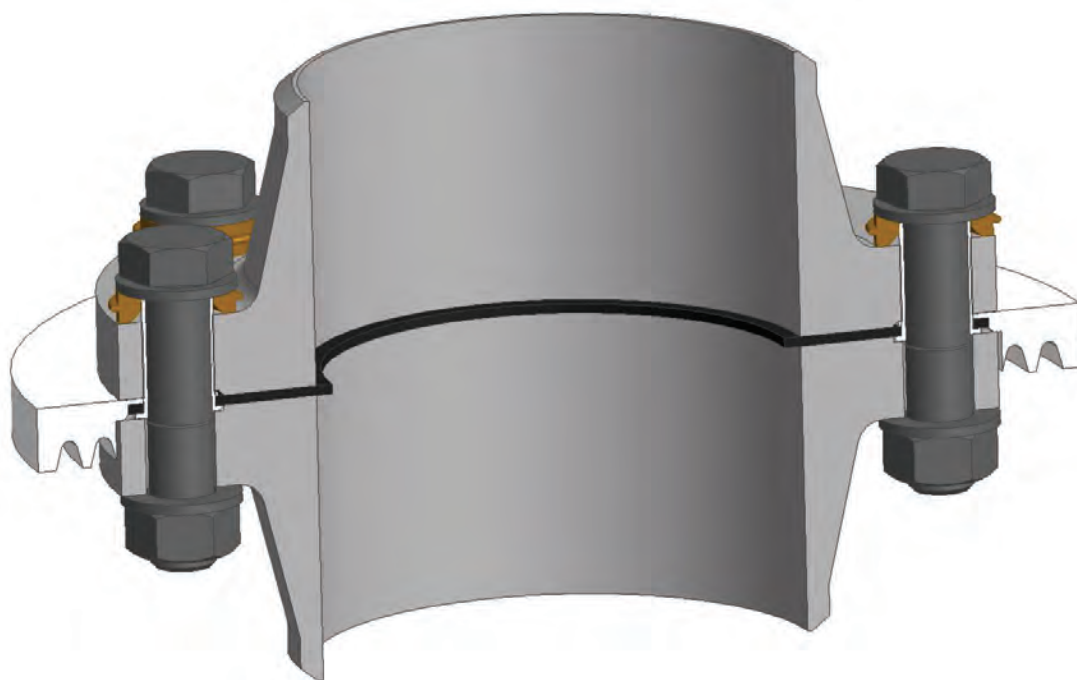
Swivel Joint
Flanged model

Bulletin 264010

SWIVELJOINT MODEL



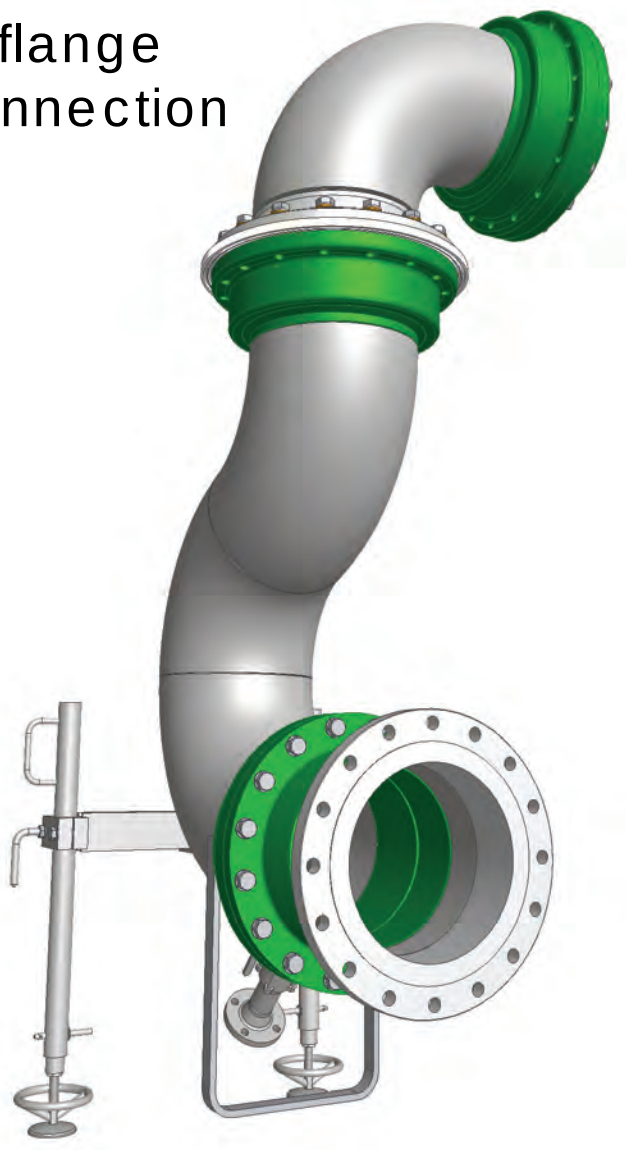
FLANGED MODEL



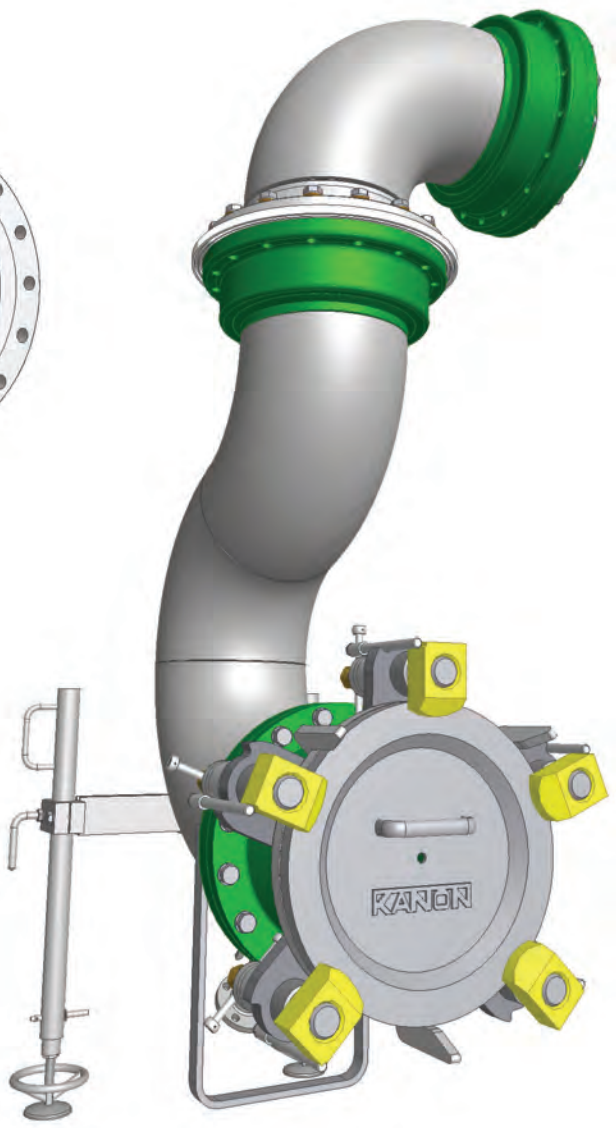
Connecting possibilities

For Marine Loading Arm
Bulletin 264028

Standard flange connection



Standard manual quick connect/disconnect coupling



KANON LOADING EQUIPMENT BVP.O. BOX 385 – 3840 AJ HARDERWIJK
EDISONWEG 27 – 3899 AZ ZEEWOLDE
THE NETHERLANDS

INTERNET : WWW.KANON.NL

PHONE : +31 (0)36 – 521 9777

FAX : +31 (0)36 – 521 9770

E-MAIL : SERVICE@KANON.NL

REG.No. TRADEREGISTER LELYSTAD: 08013878

FIELD SERVICE DAY RATES 2014

1. SUPERVISOR

Supervisor for consulting, supervision, installation, commissioning, start-up and training activities.

Daily rate, 10 hrs/day, 5 days /week for work and waiting (stand-by) time

€ 970,00

Daily rate for travel time.

€ 798,00**2. SERVICE ENGINEER**

Service engineer for inspection, repair, overhauling and maintenance activities.

Daily rate, 10 hrs/day, 5 days/week for travel, work and waiting (stand-by) time.

€ 798,00**3. OVERTIME**

- Working hours in excess of regular 8 working hours
- Working hours on Saturday
- Working hours on Sunday and public (national) holidays

Standard rate + 25%**Standard rate + 50%****Standard rate + 100%****4. ADDITIONAL CHARGES**

- Service car per km.
- Overnight allowance
- Travel, hotel and living expenses

€ 0,72**€ 97,00****at cost + 15%****5. GENERAL**

- All mentioned rates are in EURO per man and do not include any expenses and taxes.
- Delay in work due to circumstances beyond our control will authorise us to charge costs against above-mentioned rates, including waiting hours and travelling expenses.
- Public holidays will be charged as Sunday.
- Regular working hours are from 06:00 until 18:00 hour
- Travel time will be all time spent to arrive to job site or local accommodation, applicable rates and expenses will be charged from time engineer leaves home or office until return.
- Working hours will be all time spent in client's behalf to execute the work.
- Kanon reserves the right to change these rates without notice.
- Every reasonable effort will be made to keep costs as economical as possible.

6. CANCELLATION

If service reservations are cancelled less than 48 hours (Saturday & Sunday excluded) before the scheduled date, cancellation cost will be charged at 20% of the job value (man hours) including flight ticket cancellation cost or at least the cost of 1 (one) full working day.

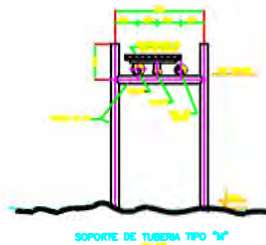
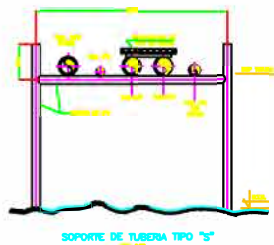
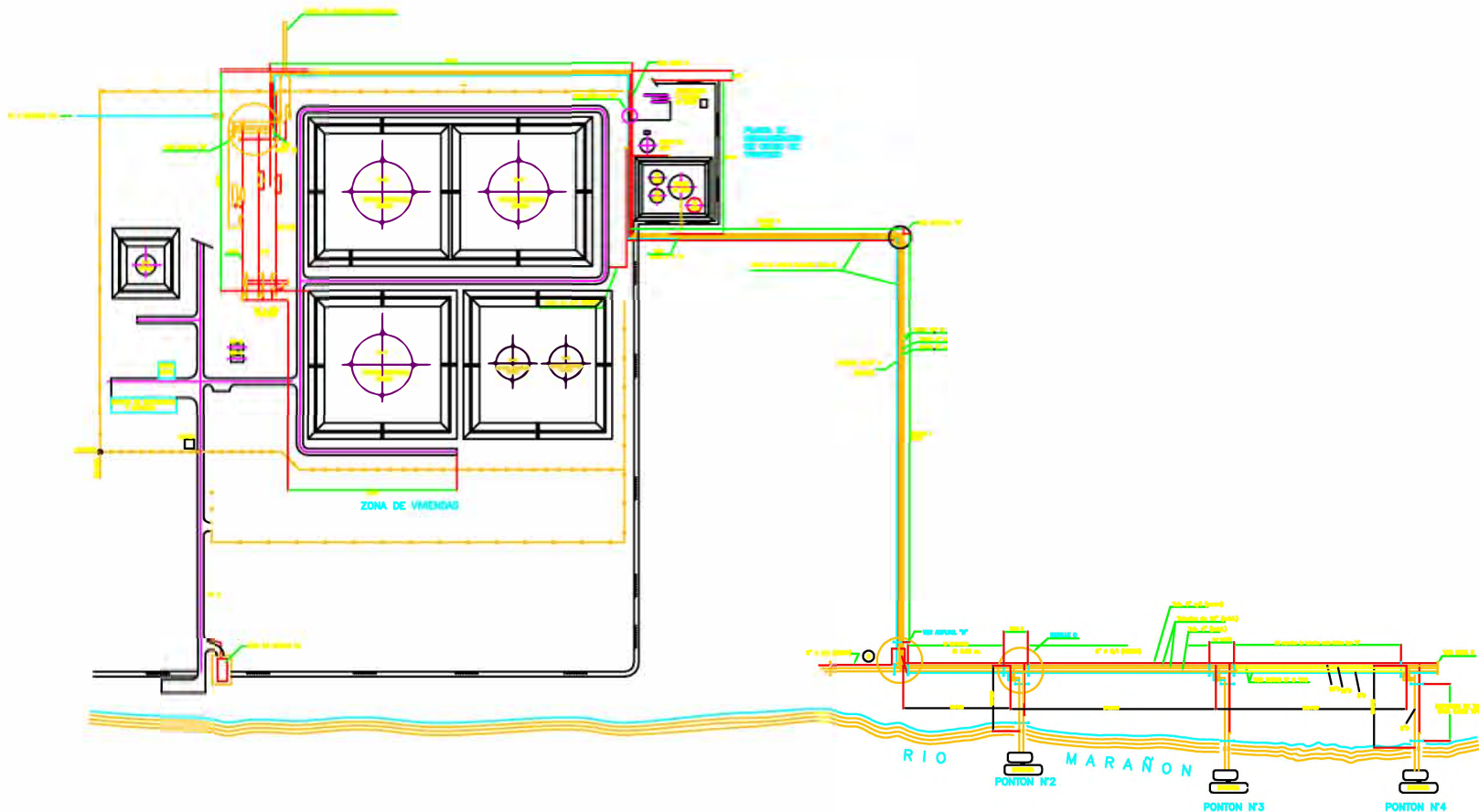
Anexo A.2
APLISAC



Señores PETROPERU OPERACIÓN OLEODUCTO		Fecha: 2014/ago/05		
Atn. ING. FRANCIS PURIZACA		Páginas 1/1		
Ref.: Brazo de Carga de 8" para Ponton Marca Emco Wheaton - Alemania				
COTIZACION No.: 199-IND-14				
Referencia: Solicitud Via Email				
ITEM	DESCRIPCION	QTY	P.UNIT.	P.TOTAL
1	Brazo de Carga de 8" para Instalacion en Ponton de Estacion N° 01 Marca: Emco Wheaton Procedencia: Alemania Materia: Acero al carbono Sellos: Viton De acuerdo a Plano N° 1527/1/2	1	190,298.00	\$190,298.00
TOTAL				\$190,298.00
NOTA: Ofertamos precios referenciales, solo para uso de presupuesto				
<u>TERMINOS COMERCIALES</u>				
LUGAR DE ENTREGA EN SUS ALMACENES LIMA				
TIEMPO DE ENTREGA DE 23 A 25 SEMANAS				
FORMA DE PAGO A NEGOCIAR				
VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS				
MONEDA DOLARES AMERICANOS				
NUESTROS PRECIOS NO INCLUYEN IGV 18%				

Nick Oreogn
APLISAC

Anexo B
Plano Estación 1



LISTA DE MATERIALES			
Nº	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	VARILLA DE ACERO	1000	M
2	VARILLA DE ACERO	1000	M
3	VARILLA DE ACERO	1000	M
4	VARILLA DE ACERO	1000	M
5	VARILLA DE ACERO	1000	M
6	VARILLA DE ACERO	1000	M
7	VARILLA DE ACERO	1000	M
8	VARILLA DE ACERO	1000	M
9	VARILLA DE ACERO	1000	M
10	VARILLA DE ACERO	1000	M

1	VARILLA DE ACERO	1000	M
2	VARILLA DE ACERO	1000	M
3	VARILLA DE ACERO	1000	M
4	VARILLA DE ACERO	1000	M
5	VARILLA DE ACERO	1000	M
6	VARILLA DE ACERO	1000	M
7	VARILLA DE ACERO	1000	M
8	VARILLA DE ACERO	1000	M
9	VARILLA DE ACERO	1000	M
10	VARILLA DE ACERO	1000	M
11	VARILLA DE ACERO	1000	M
12	VARILLA DE ACERO	1000	M
13	VARILLA DE ACERO	1000	M
14	VARILLA DE ACERO	1000	M
15	VARILLA DE ACERO	1000	M
16	VARILLA DE ACERO	1000	M
17	VARILLA DE ACERO	1000	M
18	VARILLA DE ACERO	1000	M
19	VARILLA DE ACERO	1000	M
20	VARILLA DE ACERO	1000	M



PETROPERU S.A.
SERVICIO AL CLIENTE



ESTACION N°1
AMPLIACION DEL SISTEMA
DE DESC. EN PONT.
DISPOSICION GENERAL

FECHA	REVISADO	ESCALA
01-01-01	01-01-01	1:1000
PROY.	APROB.	PLANO
01-01-01	01-01-01	01-01-01

ELABORADO POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

Nº	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	VARILLA DE ACERO	1000	M
2	VARILLA DE ACERO	1000	M
3	VARILLA DE ACERO	1000	M
4	VARILLA DE ACERO	1000	M
5	VARILLA DE ACERO	1000	M
6	VARILLA DE ACERO	1000	M
7	VARILLA DE ACERO	1000	M
8	VARILLA DE ACERO	1000	M
9	VARILLA DE ACERO	1000	M
10	VARILLA DE ACERO	1000	M

Anexo C
Plan de sugerencias – Estación 1

PLAN DE SUGERENCIAS - Hoja de Participación

Sug. N°

Fecha:

1. Presente solo una Hoja de Participación por cada sugerencia y envíela a la Secretaría del Plan Dpto. de Recursos Humanos o a su Supervisor Inmediato.
2. Si Ud. Tiene alguna duda, consulte o solicite orientación a su Supervisor, o en Recursos Humanos.

NOMBRE Y APELLIDOS: VICENTE FERNANDO NUÑEZ RODRIGUEZ JOSE ALEJANDRO CARBAJAL CASTILLO		N° FICHA 34342 / 34565	DPTO. / UNIDAD / PLANTA OPERACIONES / ORIENTE / ESTACION 1	
PUESTO QUE DESEMPEÑA: OPERADOR / OPERANTE		CATEGORIA ADM ☐ EMP. ☒ OBR ☐ OTRO ☐		
EL PROBLEMA O SITUACION ACTUAL ES: ALTO CONSUMO DE DIESEL Y ENERGIA		REFERENCIA:		
LA SOLUCION O SUGERENCIA ES: INSTALACION DE LINEA DE SUCCION DIRECTA A LA MOTOBOMBA 1MB - 2M (BOMBA DE TORNILLO) NUEVA Y INSTALACION DE LINEA DE SUCCION DIRECTA A LA MOTOBOMBA DE TORNILLO (1MB-2M), EVITANDO EL USO DE ELECTROBOMBAS DE TRANSFERENCIA IG-6 / IG-7 (BOOSTER).				

(COMO SE PUEDE PONER EN PRACTICA?, ILUSTRAR CON DIBUJO CUANDO SEA NECESARIO, (SI LE ES POSIBLE))

QUE BENEFICIO PRODUCIRA A LA EMPRESA? SI PROCEDE, INDICAR AHORRO O BENEFICIO QUE UD. CONSIDERA (NO ES OBLIGATORIO)
AHORRO DE ENERGIA DE (100 KW/HR). Y COMBUSTIBLE. CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE AL REDUCIR EMISIONES DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO (CO2). REDUCIR NUESTRO IMPACTO, SIGUIENDO EL TRATADO DE KYOTO.
100 KW EQUIVALEN A 07 GLS DE DIESEL II POR HORA, DIARIO SERIAN 168 GLS. AL MES 5040 GLS Y AL AÑO 60,480 GLS DE DIESEL II. SI
EL PRECIO DEL DIESEL II POR GL ES S/10.00, TENDRIAMOS UN AHORRO DE S/ 680,000.00, SIN CONTAR EL COSTO DE TRANSPORTE.
MAYOR TIEMPO DE VIDA A LOS EQUIPOS DE GENERACION

De acuerdo a Normas y Procedimientos del Plan, OTORGÓ a PetroPeru S.A., el libre uso de la Sugerencia, aun cuando fuera patentada por mí, previa autorización de la Empresa, también declaro conocer, que las recompensas que pudiera percibir en mi calidad de autor, son gravables con el Impuesto a la Renta y otros y que, por lo tanto, debo declararlas, no siendo responsabilidad de la Empresa cualquier omisión, en que yo incurriera.

FIRMA DEL SUGERENTE

Firma: / /
FECHA DE ENVIO**PARA USO DEL COMITÉ PLAN DE SUGERENCIAS**

REUNION N°

SUGERENCIA ELEGIBLE ☐SUGERENCIA NO ELEGIBLE ☐REQUIERE MAYOR ANALISIS ☐

FECHA:

FUNDAMENTO:

PREMIO:

EFECTIVO

ESTIMULO

APROBADO POR EL COMITÉ

D-1

de tanque
a manifold
de bombeo

tub.24" (m)
conec. Manifold

107.4

5.84 113.24 m

accesorios
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
codo a 45
codo a 90
T
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
T

descrip.
ubicada al pie del tanque
para doblar , aun sobre el terreno
para introducir linea a tierra
para ubicar linea de forma horizontal bajo tierra

para derivar a valvula
para coneccion a manifold
para nivelar cota con el manifold
para nivelar cota con el manifold
para coneccion a manifold

D-2

de tanque
a manifold
de bombeo

tub.24" (m)
conec. Manifold

118.77

5.84

124.61

accesorios
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
codo a 45
codo a 90
codo a 90
codo a 90
T
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
T

descrip.
ubicada a pie del tanque
para doblar , aun sobre el terreno
para introducir linea a tierra
para ubicar linea de forma horizontal bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
para derivar a valvula
para coneccion a manifold
para nivelar cota con el manifold
para nivelar cota con el manifold
para coneccion a manifold

D-3

de tanque
a manifold
de bombeo

tub.24" (m)
conec. Manifold

220.44
5.84

226.28

accesorios
vualvula mariposa
codo a 45
codo a 90
codo a 90
codo a 45
codo a 45
codo a 90
codo a 90
codo a 90
T
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
T

descrip.
ubicada a pie del tanque
direccionar tuberia, sobre el terreno
direccionar tuberia, sobre el terreno
direccionar tuberia, sobre el terreno
para introducir linea a tierra
para ubicar linea de forma horizontal bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
direccionar tuberia bajo tierra
para derivar a valvula
para coneccion a manifold
para nivelar cota con el manifold
para nivelar cota con el manifold
para coneccion a manifold

D-4

de tanque
a manifold
de bombeo

tub.24" (m)
cotas valvula

194.18

3

197.18

accesorios
valvula meriposa
codo a 45
codo a 45
codo a 90
T
valvula mariposa
codo a 90
T
codo a 45
codo a 45
T

descripcción
ubicada a pie de tanque
introducir tubería bajo el terreno
direccionar tubería horizontalmente pajo tierra
direccionar tubería bajo tierra
para derivar a la valvula
para conectar con el manifold

para conección con manifold previo al de bombeo

conección a manifold de bombeo

de tanque
a manifold
de bombeo

tub.24" (m)
cotas valvula

256.96

3 259.96

D-5

accesorios
valvula meriposa
codo a 45
codo a 45
codo a 90
codo a 90
codo a 90
T
valvula mariposa
codo a 45
codo a 45
T

descrip.
ubicada a pie de tanque
introducir tubería bajo el terreno
direccionar tubería horizontalmente pajo tierra
direccionar tubería bajo tierra
direccionar tubería bajo tierra
direccionar tubería bajo tierra
para derivar a la valvula
para conectar con el manifold

conección a manifold de bombeo

Diam	D.N	Codo 90°	Codo 45°	Tee Flujo Cambiado	Tee Flujo Lineal	Válvula de Pie	Válvula Compuerta	Válvula Check	Válvula Bola	Filtro	Reducción Concéntrica
1"	1.049	0.4	0.23	1	0.26	0.8	0.24	2	14	10.5	0.43
1 1/2"	1.61	0.35	0.205	0.88	0.22	0.8	0.18	2	10	10.5	0.43
2"	2.067	0.3	0.2	0.8	0.19	0.8	0.14	2	8.5	10.5	0.43
3"	3.068	0.27	0.19	0.77	0.17	0.8	0.26	2	7.8	10.5	0.43
3 1/2"	3.548	0.25	0.185	0.72	0.16	0.8	0.23	2	7	10.5	0.43
4"	4.026	0.21	0.18	0.7	0.14	0.8	0.16	2	6.4	10.5	0.43
5"	5.047	0.19	0.17	0.65	0.13	0.8	0.135	2	6	10.5	0.43
6"	6.065	0.18	0.15	0.6	0.12	0.8	0.09	2	5.9	10.5	0.43
8"	7.9810	0.15	0.12	0.56	0.1	0.8	0.08	2	5.7	10.5	0.43
10"	10.02	0.14	0.11	0.52	0.09	0.8	0.06	2	5.5	10.5	0.43
12"	11.938	0.13	0.105	0.5	0.085	0.8	0.05	2	5.5	10.5	0.43
14"	13.124	0.12	0.1	0.48	0.08	0.8	0.4	2	5.5	10.5	0.43
16"	15	0.11	0.095	0.46	0.078	0.8	0.036	2	5.5	10.5	0.43
24"	23.25	0.1	0.095	0.4	0.072	0.8	0.033	2	5.5	10.5	0.43
24"	23.25	0.1	0.095	0.4	0.072	0.8	0.033	2	5.5	10.5	0.43

D-5

de tanque	tub.24" (m)	256.96	
a manifold	cotas válvula	3	259.96
de bombeo			
	accesorios		descrip.
	válvula mariposa		ubicada a pie de tanque
	codo a 45		introducir tubería bajo el terreno
	codo a 45		dirigir tubería horizontalmente hacia tierra
	codo a 90		dirigir tubería bajo tierra
	codo a 90		dirigir tubería bajo tierra
	codo a 90		dirigir tubería bajo tierra
	T		para derivar a la válvula
	válvula mariposa		para conectar con el manifold
	codo a 45		
	codo a 45		
	T		conexión a manifold de bombeo

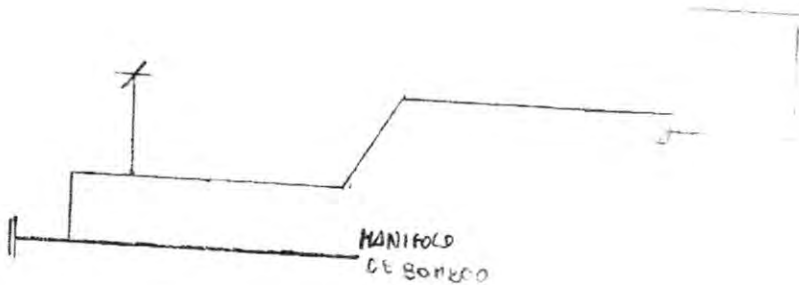
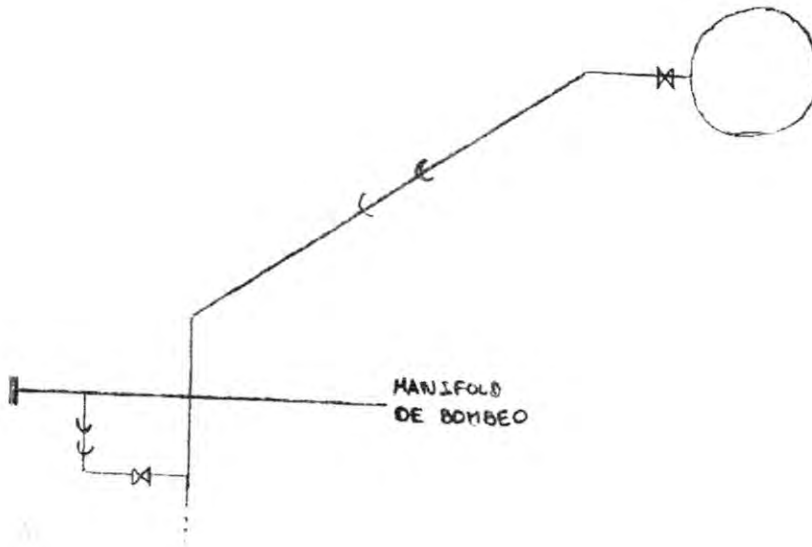


<u>Diam</u>	<u>D.N</u>	Codo 90°	Codo 45°	Tee Flujo Cambiado	Tee Flujo Lineal	Válvula de Pie	Válvula Compuerta	Válvula Check	Válvula Bola	Filtro
1"	1.049	0.4	0.23	1	0.26	0.8	0.24	2	14	10.5
1 1/2"	1.61	0.35	0.205	0.88	0.22	0.8	0.18	2	10	10.5
2"	2.067	0.3	0.2	0.8	0.19	0.8	0.14	2	8.5	10.5
3"	3.068	0.27	0.19	0.77	0.17	0.8	0.26	2	7.8	10.5
3 1/2"	3.548	0.25	0.185	0.72	0.16	0.8	0.23	2	7	10.5
4"	4.026	0.21	0.18	0.7	0.14	0.8	0.16	2	6.4	10.5
5"	5.047	0.19	0.17	0.65	0.13	0.8	0.135	2	6	10.5
6"	6.065	0.18	0.15	0.6	0.12	0.8	0.09	2	5.9	10.5
8"	7.9810	0.15	0.12	0.56	0.1	0.8	0.08	2	5.7	10.5
10"	10.02	0.14	0.11	0.52	0.09	0.8	0.06	2	5.5	10.5
12"	11.938	0.13	0.105	0.5	0.085	0.8	0.05	2	5.5	10.5
14"	13.124	0.12	0.1	0.48	0.08	0.8	0.4	2	5.5	10.5
16"	15	0.11	0.095	0.46	0.078	0.8	0.036	2	5.5	10.5
24"	23.25	0.1	0.095	0.4	0.072	0.8	0.033	2	5.5	10.5
24"	23.25	0.1	0.095	0.4	0.072	0.8	0.033	2	5.5	10.5

CALCULO DE PERDIDAS

(TK-DL)

- ▶ Tramo comprendido desde la válvula de Pie del tanque al MANIFOLD de bombeo - Playa de válvulas



$$\triangleright Q = 699 \text{ BPH} = 699 \text{ bbl} \times \frac{0.158 \text{ m}^3}{\text{bbl}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.03087 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P_T - 2\psi = \frac{141.5}{G_{sc}} - 131.5$$

$$2\psi = \frac{141.5}{\frac{G_c}{1000}} - 131.5 \Rightarrow S_c = 927.869 \text{ kg/m}^3$$

$$\triangleright \text{Viscosidad } \mu = 290.32 \text{ cP}$$

► Velocidad:

$$Q = V \cdot A \Rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$A \rightarrow \frac{\pi D_N^2}{4}$

$$D = 24''$$

$$D_N = 23.25'' = 0.59055$$

$$V = \frac{0.03087}{\frac{\pi \cdot 0.59055^2}{4}} = \underline{\underline{0.1127 \text{ m/s}}}$$

► Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{0.1127 \times 0.59055 \times 927.86}{290.32 \times 10^{-6}} =$$

$$\underline{\underline{Re = 212715.617}}$$

► factor de fricción (λ)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad e = 0.05 \text{ mm}$$

$$\text{tomando } \lambda = \underline{\underline{0.01613}}$$

► Pérdidas

+ Primarias

$$P_1 = \lambda \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} = 0.002$$

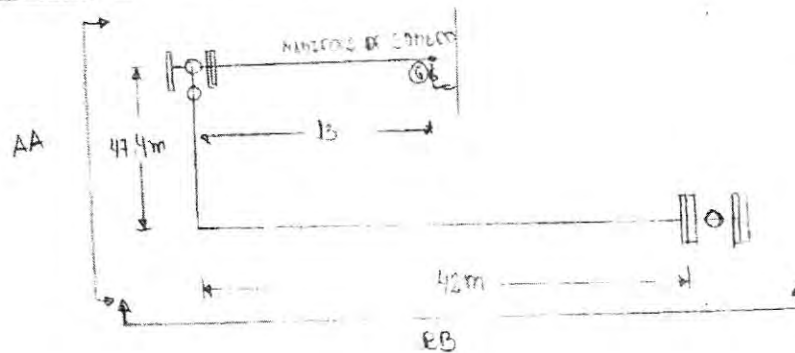
+ Secundarias

$$\lambda_2 = 2.975 \quad \leftarrow \text{ver Excel}$$

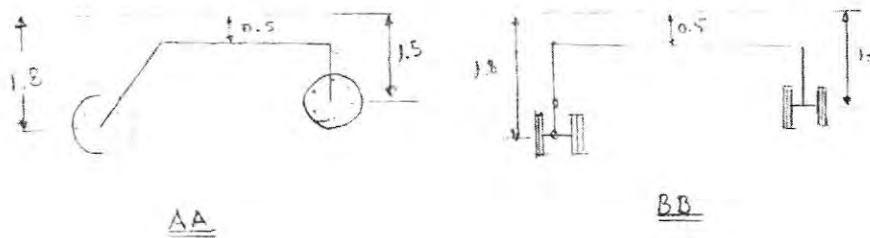
$$P_2 = \lambda_2 \cdot \frac{V^2}{2g} = 0.0019$$

$$\underline{\underline{P_T = 0.004 \text{ m}}}$$

ANÁLISIS DEL NUEVO DAMO



- 2 T
- 1 codo 45°
- 2 codo 90°
- 1 válvula



Pérdidas

$$P_{f(1)} = 0.01613 \times \frac{0.1127^2}{2 \times 9.81} \times \frac{102.4}{0.59035} = 1.8106 \times 10^{-3}$$

$$P_{f(2)} = 1.875 \times \frac{0.1127^2}{2 \times 9.81} = 1.2267 \times 10^{-3}$$

$$\left(Z_6 + \frac{V_6^2}{2g} + \frac{P_6}{\rho g} \right) - \left(Z_5 + \frac{V_5^2}{2g} + \frac{P_5}{\rho g} \right) = P_{r1} + P_{r2}$$

$$(Z_6 - Z_5) + \frac{P_6}{\rho g} - (P_{r1} + P_{r2}) = \frac{P_5}{\rho g}$$

$$(-1.8 - (-1.5)) + 14.0973 - (1.8106 + 1.1620) \times 10^{-3} = \frac{P_5}{\rho g}$$

$$13.7949 \text{ m} = \frac{P_5}{\rho g}$$

Anexo D
Longitudes equivalentes de accesorios de una red de tubería

LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS DE UNA RED DE TUBERÍAS

DIAMETROS NOMINALES, INTERNOS Y AREAS DE TUBERIAS			
Diámetro Nominal	Diámetro Interno in	Diámetro Interno cm	Area cm2
0	0	0,00	0,00
2	2,067	5,25	21,65
3	3,068	7,79	47,69
4	4,026	10,23	82,13
5	5,047	12,82	129,07
6	6,065	15,41	186,39
7	7,023	17,84	249,92
8	7,981	20,27	322,75
9	8,941	22,71	405,07
10	10,02	25,45	508,74
11	11	27,94	613,12
12	12	30,48	729,66
14	13,25	33,66	889,59
16	15,25	38,74	1178,41
18	17,25	43,82	1507,77
20	19,25	48,90	1877,67
22	21,25	53,98	2288,10
24	23,25	59,06	2739,07

LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES DE VALVULAS Y ACCESORIOS																		
Le/D	Válvula o Accesorio	Diámetros en pulgadas																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
202,5	Filtro mesh 40	33,75	50,63	67,50	84,38	101,25	118,13	135,00	151,88	168,75	185,63	202,50	236,25	270,00	303,75	337,50	371,25	405,00
50	Válvula Check	8,33	12,50	16,67	20,83	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,67	100,00
8	Válvula de Compuerta	1,33	2,00	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33	6,00	6,67	7,33	8,00	9,33	10,67	12,00	13,33	14,67	16,00
100	Válvula de Verif. Girat	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,67	100,00	116,67	133,33	150,00	166,67	183,33	200,00
150	Válvula de Verif. Bola	25,00	37,50	50,00	62,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00	137,50	150,00	175,00	200,00	225,00	250,00	275,00	300,00
45	Válvula de Mariposa	7,50	11,25	15,00	18,75	22,50	26,25	30,00	33,75	37,50	41,25	45,00	52,50	60,00	67,50	75,00	82,50	90,00
420	Válvula de Pie - Vástago	70,00	105,00	140,00	175,00	210,00	245,00	280,00	315,00	350,00	385,00	420,00	490,00	560,00	630,00	700,00	770,00	840,00
75	Válvula de pie - Bisagra	12,50	18,75	25,00	31,25	37,50	43,75	50,00	56,25	62,50	68,75	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00	137,50	150,00
30	Codo Estandar 90°	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00	27,50	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00
50	Codo Roscado 90°	8,33	12,50	16,67	20,83	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,67	100,00
20	Codo Radio Largo 90°	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00	16,67	18,33	20,00	23,33	26,67	30,00	33,33	36,67	40,00
16	Codo Estandar 45°	2,67	4,00	5,33	6,67	8,00	9,33	10,67	12,00	13,33	14,67	16,00	18,67	21,33	24,00	26,67	29,33	32,00
50	Vuelta Cerrada en Retorno	8,33	12,50	16,67	20,83	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,67	100,00
20	T Estandar con Flujo	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00	16,67	18,33	20,00	23,33	26,67	30,00	33,33	36,67	40,00
60	T Estandar con Flujo	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	110,00	120,00

Anexo E
Simulación hidráulica de descarga de crudo

Anexo E.1
Simulación hidráulica de descarga Residual Iquitos

94	0.470	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	31.341	31.263	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	8.737	0.077	8.737	54.593	54.515	-0.782
95	0.475	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	31.263	31.196	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	8.814	0.077	8.814	54.515	54.438	-0.860
96	0.480	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	31.196	31.108	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	8.892	0.077	8.892	54.438	54.360	-0.937
97	0.485	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	31.108	31.031	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	8.969	0.077	8.969	54.360	54.283	-1.015
98	0.490	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	31.031	30.953	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.047	0.077	9.047	54.283	54.205	-1.092
99	0.495	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.953	30.876	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.124	0.077	9.124	54.205	54.128	-1.170
100	0.500	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.876	30.798	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.202	0.077	9.202	54.128	54.050	-1.247
101	0.505	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.798	30.721	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.279	0.077	9.279	54.050	53.973	-1.325
102	0.510	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.721	30.644	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.351	0.077	9.351	53.973	53.896	-1.403
103	0.515	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.644	30.566	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.434	0.077	9.434	53.896	53.818	-1.480
104	0.520	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.566	30.488	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.512	0.077	9.512	53.818	53.740	-1.557
105	0.525	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.488	30.411	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.589	0.077	9.589	53.740	53.663	-1.635
106	0.530	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.411	30.333	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.667	0.077	9.667	53.663	53.585	-1.712
107	0.535	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.333	30.256	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.744	0.077	9.744	53.585	53.508	-1.790
108	0.540	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.256	30.178	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.822	0.077	9.822	53.508	53.430	-1.867
109	0.545	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.178	30.101	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.899	0.077	9.899	53.430	53.353	-1.945
110	0.550	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.101	30.023	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	9.977	0.077	9.977	53.353	53.275	-2.022
111	0.555	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	30.023	29.946	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.054	0.077	10.054	53.275	53.198	-2.100
112	0.560	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.946	29.868	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.132	0.077	10.132	53.198	53.120	-2.177
113	0.565	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.868	29.791	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.209	0.077	10.209	53.120	53.043	-2.255
114	0.570	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.791	29.713	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.287	0.077	10.287	53.043	52.965	-2.332
115	0.575	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.713	29.636	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.364	0.077	10.364	52.965	52.888	-2.410
116	0.580	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.636	29.558	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.442	0.077	10.442	52.888	52.810	-2.487
117	0.585	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.558	29.481	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.519	0.077	10.519	52.810	52.733	-2.565
118	0.590	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.481	29.403	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.597	0.077	10.597	52.733	52.656	-2.642
119	0.595	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.403	29.326	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.674	0.077	10.674	52.656	52.578	-2.720
120	0.600	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.326	29.248	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.752	0.077	10.752	52.578	52.500	-2.797
121	0.605	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.248	29.171	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.829	0.077	10.829	52.500	52.423	-2.875
122	0.610	5.00	16.40	113.000	113.000	113.000	370.73	370.73	52000	11	10	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	29.171	29.093	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	10.907	0.077	10.907	52.423	52.345	

195	0.985	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.514	23.436	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.564	0.077	16.564	46.766	46.688	-8.609
196	0.980	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.516	23.359	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.641	0.077	16.641	46.688	46.611	-8.687
197	0.985	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.559	23.281	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.719	0.077	16.719	46.611	46.533	-8.764
198	0.990	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.281	23.204	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.796	0.077	16.796	46.533	46.456	-8.842
199	0.995	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.204	23.126	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.874	0.077	16.874	46.456	46.378	-8.919
200	1.000	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.126	23.049	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	16.951	0.077	16.951	46.378	46.301	-8.996
201	0.995	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	23.049	22.971	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.029	0.077	17.029	46.301	46.223	-9.074
202	1.010	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.971	22.894	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.106	0.077	17.106	46.223	46.146	-9.152
203	1.015	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.894	22.816	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.184	0.077	17.184	46.146	46.068	-9.229
204	1.020	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.816	22.739	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.261	0.077	17.261	46.068	45.991	-9.307
205	1.025	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.739	22.662	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.328	0.077	17.328	45.991	45.913	-9.384
206	1.030	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.662	22.585	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.395	0.077	17.395	45.913	45.836	-9.461
207	1.035	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.585	22.508	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.461	0.077	17.461	45.836	45.759	-9.538
208	1.040	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.508	22.429	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.527	0.077	17.527	45.759	45.681	-9.615
209	1.045	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.429	22.351	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.594	0.077	17.594	45.681	45.603	-9.692
210	1.050	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.351	22.274	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.661	0.077	17.661	45.603	45.526	-9.769
211	1.055	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.274	22.197	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.728	0.077	17.728	45.526	45.449	-9.846
212	1.060	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.197	22.119	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.795	0.077	17.795	45.449	45.372	-9.923
213	1.065	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.119	22.041	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.862	0.077	17.862	45.372	45.295	-10.000
214	1.070	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	22.041	21.964	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	17.929	0.077	17.929	45.295	45.218	-10.077
215	1.075	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.964	21.886	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.000	0.077	18.000	45.218	45.141	-10.154
216	1.080	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.886	21.809	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.071	0.077	18.071	45.141	45.064	-10.231
217	1.085	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.809	21.731	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.142	0.077	18.142	45.064	44.987	-10.308
218	1.090	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.731	21.654	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.213	0.077	18.213	44.987	44.910	-10.385
219	1.095	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.654	21.576	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.284	0.077	18.284	44.910	44.833	-10.462
220	1.100	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.576	21.499	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.355	0.077	18.355	44.833	44.756	-10.539
221	1.105	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.499	21.421	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.426	0.077	18.426	44.756	44.679	-10.616
222	1.110	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.421	21.344	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.497	0.077	18.497	44.679	44.602	-10.693
223	1.115	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	21.344	21.266	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Laminar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	18.568	0.077	18.568	44.602	44.525	-10.770
224	1.120	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00																																	

296	1.480	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.687	15.609	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.391	0.077	24.391	38.939	38.961	-16.436
297	1.485	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.609	15.532	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.468	0.077	24.468	38.861	38.784	-16.514
298	1.490	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.532	15.454	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.546	0.077	24.546	38.784	38.706	-16.591
299	1.495	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.454	15.377	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.623	0.077	24.623	38.706	38.629	-16.669
300	1.500	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.377	15.299	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.701	0.077	24.701	38.629	38.551	-16.746
301	1.505	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.299	15.221	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.778	0.077	24.778	38.551	38.474	-16.824
302	1.510	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.222	15.144	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.856	0.077	24.856	38.474	38.396	-16.901
303	1.515	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.144	15.067	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	24.933	0.077	24.933	38.396	38.319	-16.979
304	1.520	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	15.067	14.989	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.011	0.077	25.011	38.319	38.241	-17.056
305	1.525	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.989	14.912	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.088	0.077	25.088	38.241	38.164	-17.134
306	1.530	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.912	14.834	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.166	0.077	25.166	38.164	38.086	-17.211
307	1.535	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.834	14.757	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.243	0.077	25.243	38.086	38.009	-17.289
308	1.540	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.757	14.679	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.321	0.077	25.321	38.009	37.931	-17.366
309	1.545	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.679	14.602	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.398	0.077	25.398	37.931	37.854	-17.443
310	1.550	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.602	14.524	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.476	0.077	25.476	37.854	37.777	-17.520
311	1.555	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.524	14.447	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.553	0.077	25.553	37.777	37.699	-17.598
312	1.560	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.447	14.369	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.631	0.077	25.631	37.699	37.621	-17.676
313	1.565	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.369	14.292	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.708	0.077	25.708	37.621	37.544	-17.753
314	1.570	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.292	14.214	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.786	0.077	25.786	37.544	37.466	-17.831
315	1.575	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.214	14.137	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.863	0.077	25.863	37.466	37.388	-17.909
316	1.580	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.137	14.059	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	25.941	0.077	25.941	37.388	37.311	-17.986
317	1.585	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	14.059	13.982	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.018	0.077	26.018	37.311	37.234	-18.064
318	1.590	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.982	13.904	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.096	0.077	26.096	37.234	37.156	-18.141
319	1.595	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.904	13.827	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.173	0.077	26.173	37.156	37.078	-18.219
320	1.600	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.827	13.749	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.250	0.077	26.250	37.078	37.001	-18.296
321	1.605	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.749	13.672	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.328	0.077	26.328	37.001	36.924	-18.374
322	1.610	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.672	13.594	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.406	0.077	26.406	36.924	36.846	-18.451
323	1.615	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.594	13.517	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.483	0.077	26.483	36.846	36.769	-18.529
324	1.620	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	11	0	0.25	0.0018	0.83	0.00015	0.00018	20160	1.310	13.517	13.439	104.00	104.00	57.22	294.16	0.197673	2.40256845	579.59	Lammar	0.110422455	0.000	0.000	0.077	0.000	26.561	0.077	26.561	36.769	36.691	-18.606
325	1.625	5.00	16.40	113.000	113.																																		

Anexo E.2
Simulación hidráulica de descarga Yanayacu

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Datos asociados a la tubería y a su perfil																	Datos asociados a las condiciones operacionales de la tubería										Propiedades del fluido			Cada Presión		Cada Presión Acumulada		Cada Pres.	Caida Pres.	Cálculo de la Presión Inicial		Presion Inicial	
Section	Long. Acum.Tub.	Long. Sec.	Long. Sec.	Cota	Cota Inicial	Cota Final	Cota Inicial	Cota Final	Sy	Ø Ext	Ø Int	Thick	Rugosidad	Ø Interno	Rugosidad	Rugosidad Relativa	Caudal	Caudal	P (Psig)	P (Psig)	Temp.(F)	Temp(F)	Densidad	Viscosidad	Viscosidad	Velocidad	Reynolds	Regimen	Friccion	Gravedad	Aceleracion	Friccion	Gravedad	Friccion	Psig	Psig	Presion(Psig)	Presion(Psig)	Ajustada(Psig)
	km	m	ft	m	m	m	ft	ft	psi	in	in	in	in	ft	ft	-	BPD	ft³/s	Inicial	Final	Inicial	Final	lbm/ft³	cP	lbm/ft.s	ft/s				Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Total	TotalAcumul	Calculada	Inicial	Inicial
388	1.940	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	9192	0.597	27.844	27.843	104.00	104.00	57.26	283.28	0.190361	0.190183346	114.41	Laminar	0.559369532	0.000	0.000	0.001	0.000	12.157	0.001	12.157	27.843	27.842	-8.104
389	1.945	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	9192	0.597	27.843	27.842	104.00	104.00	57.26	283.28	0.190361	0.190183346	114.41	Laminar	0.559369532	0.000	0.000	0.001	0.000	12.158	0.001	12.158	27.842	27.841	-8.105
390	1.950	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	9192	0.597	27.842	27.841	104.00	104.00	57.26	283.28	0.190361	0.190183346	114.41	Laminar	0.559369532	0.000	0.000	0.001	0.000	12.159	0.001	12.159	27.841	27.840	-8.106

Anexo E.3
Simulación hidráulica de descarga Piraña

1

[illegible]

[illegible]

Datos asociados a la tubería y a su perfil																	Datos asociados a las condiciones operacionales de la tubería										Propiedades del fluido			Caida Presión			Caida Presión Acumulada		Caida Pres.	Caida Pres.	Cálculo de la Presión Inicial		Presion Inicial							
Section	Long. Acum.Tub.	Long. Sec.	Long. Sec.	Cota	Cota Inicial	Cota Final	Cota Inicial	Cota Final	Sy	Ø Ext	Ø Int	Thick	Rugosidad	Ø Interno	Rugosidad	Rugosidad Relativa	Caudal	Caudal	P (Psig)	P (Psig)	Temp.(F)	Temp(F)	Densidad	Viscosidad	Viscosidad	Velocidad	Reynolds	Regimen	Ffriccon	Gravedad	Aceleracion	Friccion	Gravedad	Friccion	Psig	Psig	Psig	Total	Total acumu	Calculada	Inicial	Inicial	Ajustada(Psig)			
	km	m	ft	m	m	ft	m	ft	psi	in	in	in	in	in	ft		BPD	t3/s	Inicial	Final	Inicial	Final	lbm/ft3	cP	lbm/ft.s	ft/s				Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig	Psig
376	1.880	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.464	30.464	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.536	0.001	9.536	30.466	30.466	-6.139							
377	1.885	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.464	30.463	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.537	0.001	9.537	30.466	30.465	-6.139							
378	1.890	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.463	30.462	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.538	0.001	9.538	30.465	30.464	-6.140							
379	1.895	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.462	30.461	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.539	0.001	9.539	30.464	30.463	-6.141							
380	1.900	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.461	30.460	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.540	0.001	9.540	30.463	30.462	-6.142							
381	1.905	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.460	30.460	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.540	0.001	9.540	30.462	30.462	-6.143							
382	1.910	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.460	30.459	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.541	0.001	9.541	30.462	30.461	-6.144							
383	1.915	5.00	16.40	113.000	113.00	113.00	370.73	370.73	52000	25	24	0.25	0.0018	2.00	0.00015	0.000075	10904	0.709	30.459	30.458	104.00	104.00	57.98	187.51	0.126006	0.225608098	207.60	Laminar	0.308279169	0.000	0.000	0.001	0.000	9.542	0.001	9.542	30.461	30.460	-6.144							

Anexo E.4
Simulación hidráulica de descarga Los Ángeles

Anexo E.5
Simulación hidráulica de descarga Residual Iquitos
con el doble de flujo de bombeo

[illegible]

[illegible]