

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Puesta en marcha del sistema de descarga de Buque a
Tanque de Almacenamiento para Ácido Sulfúrico**

Para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Petroquímico

Elaborado por

César Arnaldo Machuca Polo

 0009-0004-7598-7011

Asesor

M.Sc. Herbert Jhordy Manrique Olortegui

 0000-0002-1980-8304

LIMA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres por haberme formado con los valores correctos que me sirvieron durante mi etapa universitaria y que siguen vigentes hoy en día en mi desarrollo profesional.

A mi familia actual Patricia y mis hijos André y Danna que hoy por hoy son mis principales motivaciones para buscar seguir creciendo como persona y como profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional para poder desarrollar y cumplir con el logro académico de terminar la carrera.

Agradezco también a mi amada Patricia por ayudarme en todo este proceso, brindándome el tiempo necesario y poder desarrollar este trabajo.

Agradezco mi asesor para este trabajo Msc Herbert Jhordy Manrique por haber guiado con mucha paciencia clase a clase el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

En la actualidad muchos de los insumos que se requieren para el procesamiento de minerales se transportan vía marítima y descargan en los terminales portuarios, es así como la unidad minera Mina Justa desarrolló como parte de su proyecto el terminal portuario que comprende el sistema de amarre, descarga y almacenamiento de ácido sulfúrico, que es el principal insumo para la planta producción de los cátodos de cobre.

El sistema para la recepción y descarga del buque está compuesto por 4 boyas de amarre (multiboyas) en las cuales se sujeta el buque tanque, para la descarga el terminal cuenta con una manguera flotante de 8" de diámetro interno que está almacenada en un carrete giratorio, para la conexión de la manguera al buque, la manguera flotante se despliega a lo largo del muelle y luego sobre el mar hasta llegar al *manifold* del buque. Para el proceso de descarga del buque se tiene en la plataforma marítima una estación *booster*, que consta de equipos de control de flujo, presiones, temperaturas además de 2 bombas *booster* que sirven para reimpulsar el ácido desde el muelle a los tanques de almacenamiento, donde se encuentran 3 tanques de almacenamiento con capacidades de 5000 m³ cada uno.

En ese sentido, el presente trabajo de Suficiencia Profesional busca describir la forma de realizar la puesta en marcha y operatividad del sistema de descarga de ácido sulfúrico desde un buque quimiquero hacia los tanques de almacenamiento. El comisionamiento y la puesta en marcha del sistema de descarga de ácido sulfúrico se desarrolló con un equipo multi disciplinario (mecánico, eléctrico y operacional).

El proceso de comisionamiento se desarrolló en 3 etapas denominadas C1, C2 y C3; siendo las pruebas de montaje y en vacío de los equipos desarrollados en la etapa C1, las pruebas de los equipos y sistema

con agua (*water run*) como fluido de prueba se hicieron en la etapa C2 y las pruebas de equipos y sistema con el ácido sulfúrico como fluido de trabajo se desarrollaron en la etapa C3.

Para cada etapa se describen los hallazgos más relevantes en el desarrollo del trabajo. De estos, se resalta que los hallazgos en la etapa C3 son los más relevantes del proceso ya que implica haber tenido resultados favorables en las etapas previas C1 y C2.

El haber realizado la puesta en marcha de forma adecuada y con resultados óptimos según la filosofía de control, asegura la continuidad en la operación de recepción de ácido sulfúrico en el terminal portuario de Mina Justa y por ende el abastecimiento continuo de ácido sulfúrico, el insumo principal para la planta de producción de cátodos de cobre.

ABSTRACT

Currently, many of the inputs required for mineral processing are transported by sea and unloaded at the port terminals. This is how the Mina Justa mining unit developed the port terminal as part of its project, which includes the mooring, unloading and sulfuric acid's storage, which is the main input for the copper cathode production plant.

The system for the reception of the chemical's vessel and discharge of sulphuric acid is made up of 4 mooring buoys (multibuys) in which the Vessel is attached. For unloading the terminal has an 8" internal diameter floating hose that is stored on a reel, for the connection of the hose to the vessel, the floating hose is deployed along the pier and then over the sea to the manifold's vessel (hose length = 780 m). For the unloading process of the ship, there is a pump booster station on the pier, which have equipment for control flow, pressures, temperatures, 2 booster pumps that serve to pump the acid from the pier to the storage tanks. The terminal has 3 storage tanks with capacities of 5000 m³ each tank.

In this sense the present work of Professional Sufficiency try to describe the way to carry out the start-up and operation of the sulfuric acid discharge system from a chemical vessel to the storage tanks. For the start-up of the sulfuric acid discharge system, the commissioning process was developed with a multidisciplinary team (mechanical, electrical and operational).

The commissioning process was carried out in 3 stages C1, C2 and C3, being the assembly and vacuum tests of the equipment stage C1, the tests of the equipment and system with water (water run) as test fluid stage C2. and equipment and system tests with sulfuric acid as the working fluid for stage C3.

For each stage, the most relevant findings in the development of the work are described. It should be noted that the findings in stage C3 are the most relevant of the process since it implies having had an optimal result in the previous stages C1 and C2.

Having carried out the commissioning properly and with optimal results according to the control philosophy, ensures continuity in the sulfuric acid reception operation at the Mina Justa port terminal and therefore the continuous supply of the main input for the plant production of copper cathodes.

PRÓLOGO

En el Capítulo I se presenta el problema general sobre cómo realizar la puesta en marcha de un sistema de descarga de ácido sulfúrico desde buque a tanque de almacenamiento y se realiza una descripción de los sistemas de descarga y como se puede realizar la puesta en marcha de un sistema de descarga de ácido sulfúrico en los terminales portuarios y que consideraciones se toman en cuenta para cada operación.

En el capítulo II se describe las características y usos del ácido sulfúrico en las diversas industrias, entre ellas la industria minera, los controles de seguridad que se deben tener en cuenta para la manipulación, se realiza una descripción teórica de los conceptos de físicos, funcionamiento de equipos, pérdidas de carga y bombas centrífugas con sus curvas de operación, todo esto referido a las transferencias en operaciones portuarias.

En el capítulo III se presenta y describe la filosofía de control que se desarrolló para el proyecto del terminal portuario, las características, descripción y condiciones de operación para cada uno de los equipos que integran el sistema de descarga de ácido sulfúrico desde buque a tanque de almacenamiento, asimismo se describe todas las etapas necesarias para el proceso de comisionamiento (C1, C2 y C3) que se realizan para poder lograr una puesta en marcha exitosa.

Finalmente, en el capítulo IV se realiza el análisis y discusión de todo lo descrito y encontrado en el desarrollo capítulo III, desde lo que se establece en la filosofía de control y todos los resultados de las pruebas de comisionamiento en sus 3 etapas.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del Problema de Investigación	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos	2
1.3 Objetivos del Estudio	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Antecedentes Investigativos	2
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	12
2.1 Marco Teórico.....	12
2.1.1 Ácido Sulfúrico	12
2.1.1.1 Control de riesgos y seguridad en el manejo del ácido sulfúrico .	13
2.1.2 Pérdidas de carga en tuberías y accesorios	14
2.1.3 Bombas centrífugas	16
2.1.4 Buques tanque – operaciones de descarga en Terminales.....	20
2.1.5 Producción de H ₂ SO ₄ en Nueva Refinería Talara	22
2.2 Marco Conceptual.....	28
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.1 Diseño y filosofía de operación del sistema de descarga	30
3.1.1 Descripción del sistema	30
3.1.2 Características de la tubería	32
3.1.3 Equipos de bombeo	33
3.1.4 Tanques de almacenamiento.....	34
3.1.5 Sistema de protección anódica	34
3.1.6 Criterios generales de operación	35
3.2 Comisionamiento C1.....	37
3.3 Comisionamiento C2 - Pruebas con agua (Water Run).....	38
3.3.1 Prueba en la estación <i>booster</i>	39
3.3.2 Prueba en línea de transferencia y sistema de despacho	40
3.4 Comisionamiento C3 – Prueba con ácido sulfúrico	42

3.4.1	Preparativos del proceso de descarga de ácido sulfúrico.....	42
3.4.2	Maniobras para conexión al <i>manifold</i> del buque.....	43
3.4.3	Proceso de descarga	46
3.4.4	Transporte continuo	46
3.4.5	Detención normal del sistema.....	47
3.4.6	Purgado de ácido de la manga	47
3.5	Manejo y almacenamiento de Ácido Sulfúrico	48
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		49
4.1	Revisión de la filosofía de operación del sistema	49
4.2	Consideraciones durante el Comisionamiento C1	51
4.3	Resultado de las pruebas del sistema con agua – Comisionamiento C2	51
4.4	Hallazgos y resultados durante el Comisionamiento C3	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	14
Figura 2.....	18
Figura 3.....	19
Figura 4.....	20
Figura 5.....	21
Figura 6.....	24
Figura 7.....	31
Figura 8.....	32
Figura 9.....	38
Figura 10.....	39
Figura 11.....	41
Figura 12.....	44
Figura 13.....	45
Figura 14.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	16
Tabla 2	23
Tabla 3	32
Tabla 4	33
Tabla 5	33
Tabla 6	47

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En los procesos productivos de las unidades mineras se realiza el consumo de diversos insumos químicos con diferentes características. El manejo de estos insumos químicos debe ejecutarse con sistemas que contemplen equipos adecuados y filosofías de control a fin de evitar eventos con potencial daño a la salud y/o al medio ambiente. El proyecto Mina Justa operada por la empresa Marcobre S.A.C tiene como insumos principales para el desarrollo de su producción el agua de mar y el ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico es utilizado en la planta de óxidos que procesa el mineral para obtener los cátodos de cobre (planchas). Marcobre ha establecido que el abastecimiento del ácido sulfúrico sea a través del sistema buque-tanque y para poder ejecutar las operaciones de descarga ha desarrollado e implementado todo un sistema para realizar el manejo del ácido sulfúrico. El sistema comprende una manguera flotante, una estación *booster* y tanques de almacenamiento; además de ello, el sistema cuenta con equipos de monitoreo y control en tiempo real capaces de detectar cualquier anomalía en el proceso de descarga.

La puesta en marcha de un sistema de descarga de ácido sulfúrico en un terminal marítimo es de mucha importancia ya que con estas pruebas y verificaciones se podrá garantizar la seguridad de la operación manteniendo la integridad del personal que manipula el sistema y así evitar generar incidentes ambientales.

1.2 Descripción del Problema de Investigación

1.2.1 Problema General

¿Cómo se debe realizar la puesta en marcha y operatividad del sistema de descarga de ácido sulfúrico desde buque hacia tanques de almacenamiento?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Es posible describir los preparativos del proceso de descarga?
- ¿Es posible describir el proceso de descarga?
- ¿Es posible describir la disposición final de ácido sulfúrico?

1.3 Objetivos del Estudio

1.3.1 Objetivo General

Describir la puesta en marcha y operatividad del sistema de descarga de ácido sulfúrico desde buque hacia tanque de almacenamiento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir de los preparativos del proceso de descarga
- Describir el proceso de descarga
- Describir el manejo y almacenamiento del ácido sulfúrico

1.4 Antecedentes Investigativos

- León, J.; Sebastia J. (2021). Descripción y análisis de la operativa de un buque COT (Chemical oil tankers) en el puerto de Barcelona maniobra, carga / descarga y documentación.

El trabajo de investigación en referencia tuvo como objetivo la descripción y análisis de las condiciones operativas de un buque COT

(*chemical oil tankers*) para cada etapa como lo son las maniobras de amarre y desamarre, la carga y/o descarga y la documentación de todo el proceso.

Tomando como principal actividad la operación de descarga de buque a terminal con tanque de almacenamiento, el autor describe los pasos para una descarga, los cuales son:

- Llegada del buque al terminal marítimo, la maniobra de amarre se debe realizar con la presencia a bordo del buque de los prácticos quienes son los especialistas y conocen las condiciones naturales y climatológicas del lugar.
- Realización del *key meeting* entre el representante del terminal, el oficial del buque, el inspector independiente y el agente marítimo, en esta reunión se establecerán las condiciones operativas necesarias para realizar la operación de descarga de manera segura.
- El inspector procederá a realizar las mediciones y muestreo de los tanques, si la descarga del producto requiere análisis, la descarga no deberá iniciar hasta que se emitan los resultados de análisis y estos indiquen que los parámetros requeridos están dentro de los límites correspondientes.
- El proceso de descarga se realiza con las condiciones establecidas en el *key meeting* y teniendo un inicio a baja presión hasta que se realicen todas las verificaciones de línea, válvulas y equipos involucrados estén funcionando correctamente, para dar pase a la descarga de forma continua y a las presiones y caudales máximos.
- Durante la descarga y conforme se van vaciando los tanques del buque, se deberá reducir la presión de la bomba del tanque con el objetivo de estabilizar la capacidad de descarga en función del nivel del producto en el interior del tanque.
- Finalización de la descarga, el aviso de término lo dará el oficial del buque, con ello, el inspector deberá verificar que los tanques

descargados se encuentren vacíos y determinar la cantidad total descargada, se procederá a realizar la desconexión de la manga del *manifold* del buque, luego de ello se procederá a la firma de la documentación correspondiente.

- La maniobra de desatraque se realiza luego de terminada la firma de documentos y que todo el personal del terminal e inspector hayan desembarcado, la maniobra será asistida por el práctico marítimo.

El trabajo de investigación desarrolló todos los pasos requeridos para la realización de una operación de carga / descarga de forma normal y segura, se describió a detalle todo el proceso desde la llegada del buque hasta el zarpe de este, estableciendo y mencionando a los responsables de todos los controles de la operación. (LEON CASTILLO & SEBASTIA BENITO, 2021)

- Ballesteros P. (2021). Procedimiento de carga y descarga.

El trabajo citado desarrolla las actividades en las operaciones portuarias de descarga de un buque a tanques de almacenamiento se dan de acuerdo con los equipos que tenga tanto el buque como el terminal de almacenamiento. Se debe tener en cuenta el principio básico de funcionamiento de los sistemas de transferencia (equipos de bombeo y controles de flujo), así como establecer las responsabilidades específicas en la ejecución de las operaciones de descarga de buque.

Se hace referencia también a las responsabilidades del primer oficial del buque ya que sobre él recae las funciones de elaborar el plan de descarga en el cual se debe indicar el diámetro nominal de la tubería del *manifold* de descarga, así como el número de interconexiones, el orden de los tanques a descargar, la máxima presión de trabajo durante la descarga aceptada tanto por el terminal como por el buque, la hoja de seguridad del material a descargar y realizar las pruebas en conjunto con el representante del terminal

de los equipos y procedimientos a seguir ante una contingencia (por ejemplo derrame de producto al mar).

También hace referencia a algunos aspectos a considerar durante la etapa de descarga como antes de abrir la válvula de descarga en el *manifold* se debe generar una presión positiva dentro del sistema de tuberías mediante el uso de la bomba respectiva. Para la etapa final de la descarga luego de haber descargado gran parte del producto se realiza el *stripping* (vaciado de remanente interno de tanque) que consiste en recuperar los pequeños remanentes de cada bodega de almacenamiento que las bombas de descarga a granel no pueden alcanzar, luego de completar el *stripping* por parte del buque, este deberá descargar lo recuperado a través del sistema de tuberías de descarga para poder dar por completado el proceso de descarga.

El autor hace referencia a las especificaciones técnicas del buque LOUKAS y las operaciones de descarga que ha realizado, en dichas operaciones se establece un procedimiento una serie de actividades con el objetivo principal de mantener la carga segura, evitando causar daños al medio ambiente, daños a la infraestructura del buque y sin poner en riesgo la vida del personal que se encuentre a bordo del buque.

El resultado del trabajo realizado se establece una guía para la realización de las operaciones de descarga a bordo del buque tanque, facilitando el entendimiento de todos los elementos implicados en la operación. (BALLESTEROS SANTANA, 2021)

- Méndez, A. (2016). Operaciones de carga / descarga en un buque petrolero "Guanarteme".

Esta investigación tuvo como objetivo principal dar a conocer los conocimientos de los equipos relacionados con las operaciones de carga / descarga de un buque tanque petrolero.

El desarrollo del trabajo establece varios capítulos que abarcan las operaciones de carga y descarga, las referencias a tomar serán sobre las operaciones de descarga, para lo cual el autor describe que se debe establecer un buen análisis para elaborar el plan de descarga, la información a analizar es: la cantidad total, el número de tanques del buque a descargar, la cantidad de tanques de almacenamiento en el terminal, la línea a utilizar para la descarga, el caudal de transferencia acordado entre el oficial del buque y el representante del terminal, la presión operativa y máxima durante toda la operación de transferencia, los límites de temperatura para el producto a descargar y los sistemas de venteo que tienen los tanques.

Adicionalmente el autor describe todo el equipamiento que tiene el buque “Guanarteme” como lo son:

- Líneas de carga y descarga.
- *Manifold* de carga y descarga.
- Bombas de carga y descarga por cada tanque de almacenamiento.
- Líneas contra incendios.
- Líneas de lavado de tanques.
- Línea de calefacción (para productos muy viscosos).
- Líneas de aire comprimido (usado para los desplazamientos de carga al interior de las tuberías).

Como conclusión, el trabajo desarrollado establece los riesgos y dificultades que se encuentran en todo el proceso de descarga de un buque tanque, y manifiesta que el conocimiento y experiencia del personal que opera un buque tanque es esencial para garantizar una operación segura, además de que tanto el personal del buque como del terminal de almacenamiento conozcan las características físicas y químicas del producto a descargar. (MÉNDEZ CASANOVA, 2016)

- Zamora, P. (2017). "Proceso de carga y descarga de LNG en un buque Metanero"

El trabajo en referencia establece los lineamientos y conceptos teóricos acerca de un buque metanero, los tanques de carga y los procedimientos de carga y descarga, así como todos los procesos intermedios que realiza el buque en un terminal portuario.

En este trabajo el autor describe las líneas para los sistemas de carga y descarga, están se dan por los *manifolds* que se ubican en la parte central del buque con 1 al lado tanto de babor como de estribor. Para el caso de buques metaneros se cuentan con 5 conexiones, de las cuales 4 se utilizan para la carga y la última que es para el estado vapor del GNL.

Para el proceso de descarga la tubería por la que transita el vapor debe estar conectada con una toma del terminal y por ella se recibirá el vapor de GNL a fin de evitar que se pueda generar vacío dentro de los tanques de carga del buque mientras se realiza la descarga.

Para el proceso de carga en el buque, la línea de vapor estará conectada a una toma del terminal y por ella se enviará el vapor de GNL desde el buque al terminal para evitar que se genere una sobrepresión en el interior de los tanques de carga.

Sobre las líneas del sistema de carga y descarga son tuberías que han sido construidas con metal criogénico y poder garantizar las temperaturas de -160°C sin que puedan presentar algún daño por efectos de variación de temperatura.

En el sistema de tuberías también se cuenta con accesorios como juntas de expansión que cumplen la función de muelles ante los efectos de contracción y dilatación.

Para el procedimiento de descarga el autor describe las etapas del proceso de descarga que son:

- Amarre del buque al terminal portuario.
- Conferencia pre descarga – verificación del *check list* de seguridad.
- Conexiones de los brazos o mangueras al *manifold* de descarga.
- Verificaciones de equipos e instrumentos antes del inicio de la transferencia.
- *Ramp up* en la descarga que se define como la etapa inicial de la descarga en la cual el flujo va subiendo hasta llegar al máximo valor.
- El *Ramp down* de la descarga, se define como la etapa final de la descarga y empieza a bajar el flujo de las bombas.
- El purgado de líneas, el autor define esta actividad como una limpieza con un fluido a presión para evitar la presencia del fluido en la desconexión de la manga del *manifold* del buque.

Como conclusión del trabajo desarrollado el autor resalta la importancia para evitar el vacío que pueda producirse dentro de los tanques de almacenamiento del buque. Se describe y resalta que a pesar de tener todo el sistema automatizado se debe realizar las verificaciones de todas las válvulas que están comprometidas en el proceso de descarga. (ZAMORA SARABIA, 2017)

- Dorta, R. (2018). "Elementos de la carga y la descarga en el B/Q TINERFE".

El trabajo citado describe las características del buque quimiquero TINERFE que almacena y transporta diversos productos químicos, debido al peligro de los químicos el buque cuenta con una planta generadora de gas inerte que proporciona gas nitrógeno (N₂) para disminuir el nivel de oxígeno contenido en el interior del tanque y así reducir una posible combustión del químico.

El buque en referencia cuenta con 2 *manifold* en los cuales cuenta con los colectores para poder descargar los químicos que almacena, el sistema de tuberías que interconectan los tanques de almacenamiento con los *manifold* son de acero inoxidable y cuentan con válvulas tipo mariposa ubicadas en el recorrido de las tuberías para poder cortar el paso del químico cuando la operación lo requiera.

EL buque en referencia cuenta con bombas de descarga para cada tanque de almacenamiento, dichas bombas deben operar a altos caudales de acuerdo con su diseño, ya que el caudal determinara el tiempo de descarga influyendo esto en sobrecostos de estadía del buque quimiquero en el terminal.

El buque TINERFE cuenta con bombas de emergencia ya que en ciertas ocasiones puede darse el caso que una bomba de descarga falle, ya sea por problemas del motor, pérdida de aceite en el sistema hidráulico o algún accesorio dañado, el objetivo de esta bomba es suplir a la bomba dañada pero no para realizar la descarga del buque al terminal, sino para poder realizar la transferencia del tanque involucrado a otro que contengan el mismo producto y que este nuevo tanque con su bomba de descarga operativa sea quien descargue el producto químico al terminal.

En los tanques del buque TINERFE se cuenta sensores llamados sonda-radar el cual brinda la señal del vacío (altura) al interior del tanque, así como la presión y temperatura, el instrumento emite ondas que chocan con la superficie del fluido y es devuelta hacia el propio aparato con los datos requeridos.

Estos 3 parámetros (nivel de vacío, temperatura y presión) son de mucha importancia ya que con ello se determina las acciones para realizar una correcta descarga cuidando la integridad del sistema y el tanque de almacenamiento. También se cuenta con instrumentos analógicos en campo (cubierta del buque) que ante la falla del sensor de medición, se debe activar el monitoreo manual de los parámetros indicados, es decir, un operador de cubierta debe estar cerca al tanque de almacenamiento para verificar el nivel, temperatura y presión del tanque.

Los tanques del buque cuentan con válvulas liberadoras de presión denominadas PV's (*Pressure / Vacuum Relief valves*), dichas válvulas son las que van a permitir liberar la presión producida en el interior del tanque.

El buque TINERFE cuenta con un calculador de carga, estabilidad y esfuerzos que es una herramienta indispensable para poder realizar las operaciones de carga y descarga de forma segura. A través de dicho programa se puede calcular datos relevantes para la operación como el tiempo aproximado que queda de carga o descarga, la cantidad de producto que se ha cargado o descargado y los esfuerzos a los cuales será sometido la estructura del buque.

Para realizar los cálculos indicados se debe ingresar la siguiente información al programa:

- Producto por cargar en cada tanque.
- Cantidad de producto a cargar.
- Densidad de los productos a cargar.
- Cantidad de agua de lastre a llenar o vaciar.

- Cantidad de combustible, aceite para el funcionamiento de la sala de máquinas del buque.

Para el proceso de descarga el representante del terminal y del buque deberán completar la lista de comprobación de seguridad y operativo en el cual se establecerá las condiciones bajo las cuales se realizarán la descarga. La descarga iniciará con un promedio mínimo hasta que el representante del terminal compruebe que se está recibiendo el químico en su tanque de almacenamiento en el terminal, luego de ello se procederá a incrementar la presión y flujo hasta el valor acordado en la conferencia pre descarga.

A medida que se vaya alcanzando el vacío de los tanques, se reducirán las revoluciones de las bombas para realizar el secado de los tanques y evitar vibraciones en las bombas de transferencia.

La conclusión del trabajo desarrollado ha establecido mayor conocimiento de los elementos y procesos que componen un buque, así como las comunicaciones entre el terminal y el buque para el inicio de las operaciones cumpliendo los procedimientos y condiciones establecidos en el *check list* de seguridad. (DORTA RAMALLO, 2018)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico en estado puro tiene la característica física de que es un líquido transparente viscoso, parecido al aceite, debido a esto se explica el antiguo nombre que tenía el ácido, el cual era “aceite de vitriolo”. El ácido sulfúrico se puede producir casi al 100 % de concentración, la pérdida subsiguiente de SO_3 en el punto de ebullición eleva la concentración a 98.3 % de ácido. La concentración de 98 % es más estable para el almacenamiento, y en esta concentración es su forma usual y se le conoce como “ácido sulfúrico concentrado”.

El ácido sulfúrico también se puede usar producción de fertilizantes, un gran porcentaje se utiliza en la manufactura del ácido fosfórico, siendo este ácido un insumo para la producción de otros tipos de fertilizantes. (ENCYCLOPEDIA.COM, 2023)

El ácido sulfúrico tiene otros usos importantes, por ejemplo, en la refinación de petróleo, fabricación de pigmentos, procesos de tratamiento del acero, industria de extracción de metales no ferrosos, en la producción de explosivos, en la fabricación de detergentes y plásticos. En el procesamiento de los metales el ácido sulfúrico se como insumo para el tratamiento del cobre, uranio y vanadio, también se usa el ácido sulfúrico en la elaboración de baños electrolíticos a fin de lograr la purificación y plateado de los metales no ferrosos. (ENCYCLOPEDIA.COM, 2023)

2.1.1.1 Control de riesgos y seguridad en el manejo del ácido sulfúrico

En los terminales marítimos donde se realización operaciones con ácido sulfúrico se debe contar con equipos de respuesta como antídotos para salpicaduras, duchas de emergencia que tengan un sistema de bombeo continuo y así asegurar el correcto lavado del área corporal afectada por alguna salpicadura de ácido, equipos de contención como barreras absorbentes y soluciones neutralizantes para controlar o reducir los posibles impactos ambientales que se puedan dar. El equipamiento de respuesta a emergencias debe estar ubicados en puntos que permitan un rápido y fácil acceso. (SALONHOGAR, 2022)

Todos los trabajadores que desarrollan las actividades de manejo de ácido sulfúrico deberán haber sido capacitados sobre donde se ubican los dispositivos de seguridad mencionados. Según indica la ficha de seguridad del ácido no se debe agregar agua al ácido, ya que genera una reacción exotérmica violenta que provoca la salpicadura del fluido. (SALONHOGAR, 2022).

Las buenas prácticas en seguridad para el manejo de ácido sulfúrico concentrado dependerán del cumplimiento del programa de capacitación (teórico – practico) del personal, el programa de capacitación debe incluir cursos de manejo de mercancías peligrosas, así como la realización de simulacros de derrame. La supervisión es la responsable de llevar el control del cumplimiento del programa de capacitación del personal que realizara las operaciones de manejo de ácido sulfúrico, así como que el personal cumpla con el uso correcto de los equipos de protección personal que se les asigne, como se muestra en la Figura 1. (SALONHOGAR, 2022)

Figura 1
Uso de EPPs y ducha de emergencia



Fuente: (FCAB, 2022)

2.1.2 Pérdidas de carga en tuberías y accesorios

En el flujo de un fluido a través de una tubería existen pérdidas de energía debido a la viscosidad del fluido y a la fricción con las paredes de la tubería. Esta pérdida de energía se traduce en una disminución de presión a la cual se le denomina pérdida de carga. Las pérdidas de carga se dividen en pérdidas mayores (tuberías) y pérdidas menores (accesorios e irregularidades en el flujo). (MOTT, 2006)

Las operaciones de transferencias de fluidos disponen de válvulas y acoplamientos (accesorios) de distintos fabricantes para cumplir las especificaciones del sistema según la ingeniería desarrollado para el sistema de transferencia. (MOTT, 2006)

Los acoplamientos y accesorios dirigen la trayectoria del flujo o hacen que cambie su tamaño, dentro de los sistemas para transferencias de ácido

sulfúrico están compuestos por válvulas de varios tipos, codos, tes, reductores, boquillas, etc. (MOTT, 2006)

Es importante determinar los datos de resistencia para el tipo particular y tamaño elegidos, porque lo descrito depende de la geometría de la válvula o accesorio de acoplamiento, la pérdida de energía que tiene lugar cuando un fluido circula por una válvula o acoplamiento se calcula con la ecuación:

$$H_L = K (v^2/2g) \quad (1)$$

El método para determinar el coeficiente de resistencia K es diferente, el valor de K se calcula de la siguiente forma:

$$K = (L_e / D) f_T \quad (2)$$

En la Tabla 1 se presentan el valor de (L_e / D) llamado relación de longitud equivalente y se considera constante un tipo de válvula o acoplamiento, el valor de L_e se denomina longitud equivalente, y es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, la cual tendría la misma resistencia que esta. El término D es el diámetro interior real de la tubería. El término f_T es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula o acoplamiento, que se da por hecho que está en la zona de turbulencia completa. (MOTT, 2006)

Tabla 1

Resistencia de válvulas y acoplamientos expresadas como longitud

Tipo	Longitud Equivalente en diámetros de tubería L_e / D
Válvula de globo – abierta por completo	340
Válvula de ángulo – abierta por completo	150
Válvula de compuerta – abierta por completo	8
Válvula mariposa - abierta por completo 2 a 8 pulg	45
Codo estándar a 90°	30
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Te estándar – con flujo directo	20
con flujo en el ramal	60

Fuente: (MOTT, 2006)

2.1.3 Bombas centrífugas

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías, tienen una gran aplicación en operaciones industriales, de forma general una bomba se usa para:

- Elevar la presión del fluido desde la que presenta en el punto inicial hasta el punto de llegada.
- Debe subir el fluido desde el nivel de la fuente z_1 al nivel del destino z_2 .

- Tiene que incrementar la carga de velocidad en el punto 1 a la del punto 2.
- Se necesita que compense cualquier pérdida de energía en el sistema, debido a la fricción en las tuberías o en las válvulas, acoplamientos, componentes del proceso o cambios de área.

(MOTT, 2006)

Para seleccionar una bomba de aplicación específica se debe considerar los siguientes factores:

- Naturaleza del líquido a transferir.
- Capacidad requerida (flujo volumétrico).
- Condiciones del lado de la succión de la bomba.
- Condiciones del lado de descarga de la bomba.
- Carga total sobre la bomba.
- Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
- Tipo de fuente de potencia (motor eléctrico, motor diésel, turbina, etc).
- Limitaciones de espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costo de operación de la bomba.

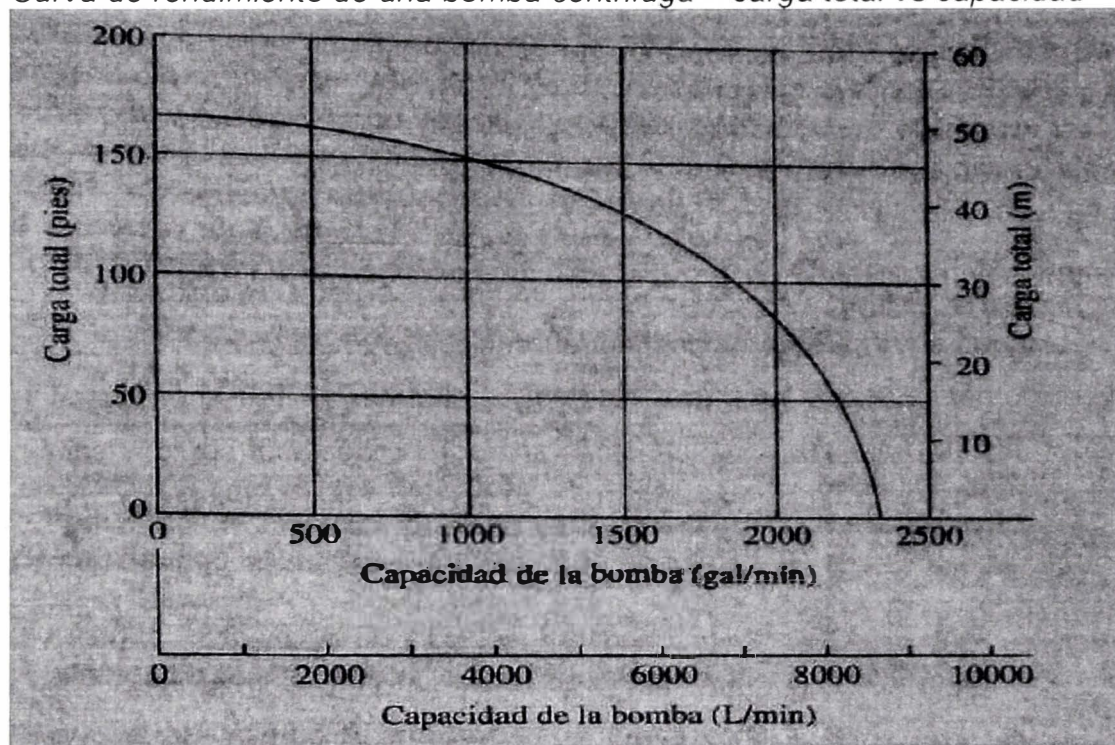
(MOTT, 2006)

La naturaleza del fluido tiene bajo principales criterios la temperatura y condiciones de bombeo, su viscosidad, gravedad específica, y su tendencia a corroer o erosionar las partes de la bomba y su presión de vapor a la temperatura de bombeo. (MOTT, 2006)

Debido a que las bombas centrífugas no son de los tipos de desplazamiento positivo, existe una dependencia fuerte entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. La curva de rendimiento común grafica la carga total sobre la bomba h_a versus la capacidad o descarga Q y se puede observar en la Figura 2. La carga total h_a representa la cantidad de energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba.

Figura 2

Curva de rendimiento de una bomba centrífuga – carga total vs capacidad

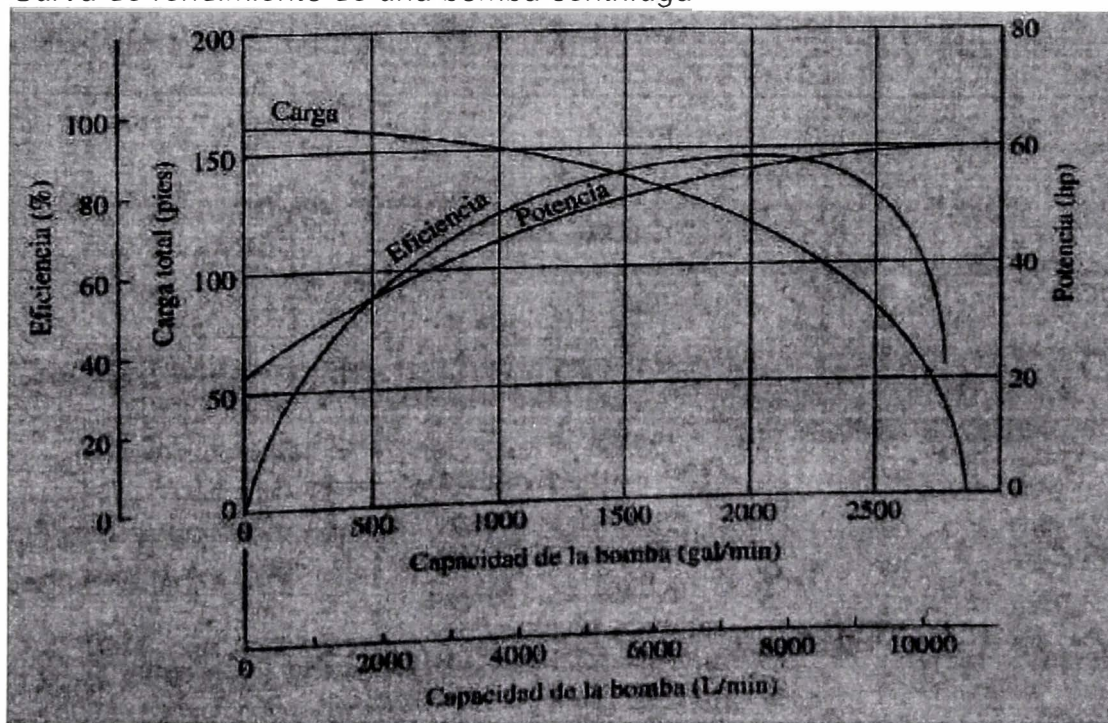


Fuente: (MOTT, 2006)

Operar una bomba de forma correcta se logra teniendo la información sobre la eficiencia y potencia requeridas, la Figura 3 muestra una medición más completa del rendimiento de una bomba, en la que se superpone las curvas de carga, eficiencia y potencia, y se grafican estas 3 versus la capacidad, la operación normal debe estar en la vecindad del pico de la curva

de la eficiencia, con eficiencias que por lo común están en el rango de 60 a 80% para bombas centrífugas. (MOTT, 2006)

Figura 3
Curva de rendimiento de una bomba centrífuga

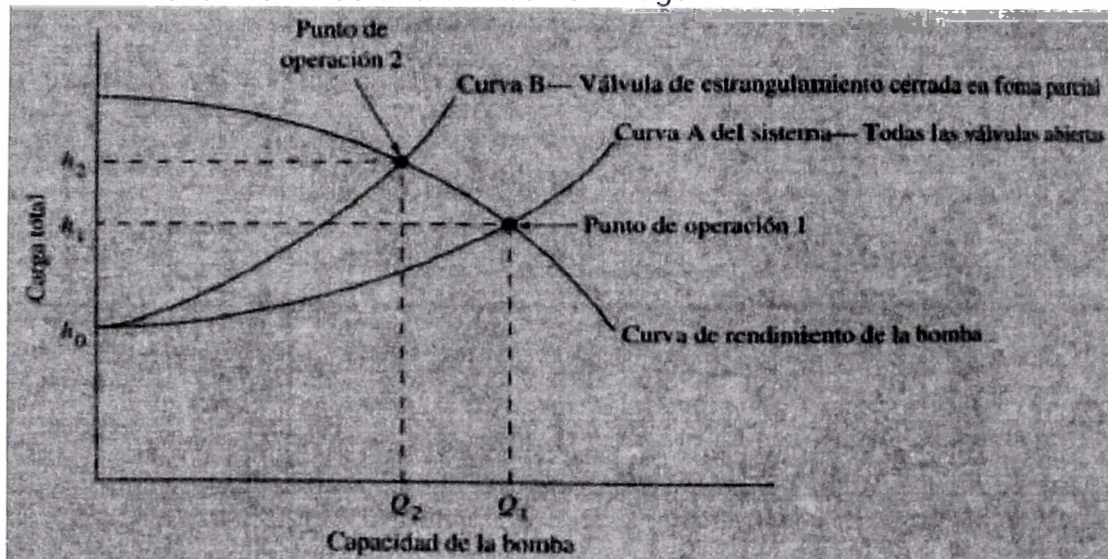


Fuente: (MOTT, 2006)

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviará cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema. Finalmente, el punto de operación verdadero de la bomba de este sistema es donde se interseca la curva de éste con la curva de rendimiento de la bomba como se muestra en la Figura 4. (MOTT, 2006)

Figura 4

Curva de rendimiento de una bomba centrífuga



Fuente: (MOTT, 2006)

2.1.4 Buques tanque – operaciones de descarga en Terminales

Las operaciones de transferencia de descarga de productos químicos en terminales portuarios se realizan teniendo como punto de partida a un buque tanque. (ABS, 2002)

Los buques tanque son diseñados para transportar o almacenar temporalmente productos químicos a granel, se tiene varios tipos de buque que son petroleros, quimiquero y gasero.

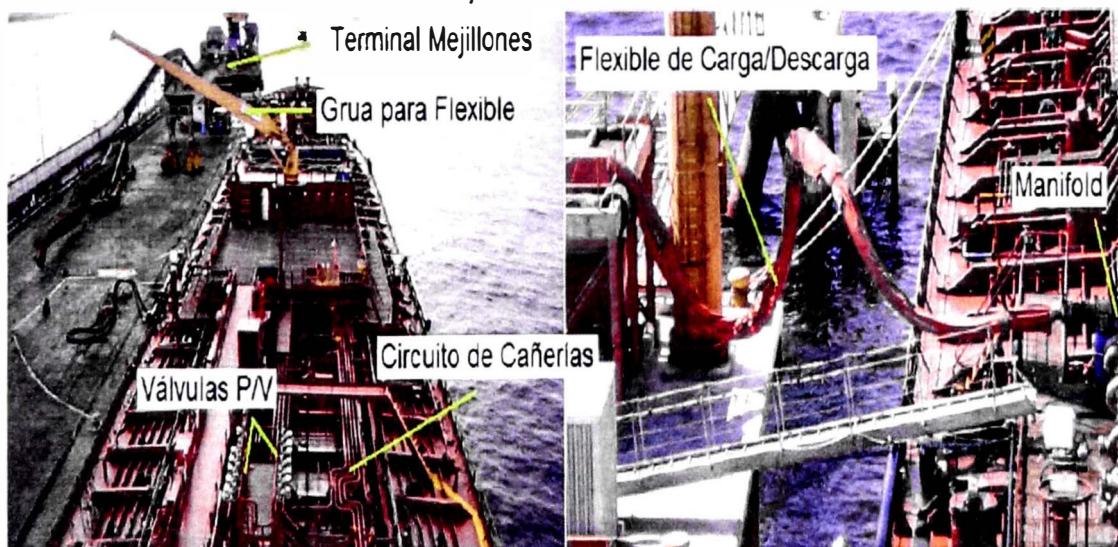
La capacidad de transporte de los buques tanques son muy variadas y van de acuerdo con la ruta específica de transporte que tenga, a continuación, la lista de los tipos de buque según sus toneladas de peso muerto (TPM) (ABS, 2002):

- 10 000–24 999 TPM: *Small tanker*
- 25 000–34 999 TPM: *Intermediate tanker*
- 35 000–44 999 TPM: *Medium Range 1 (MR1)*

El buque tanque como parte de su infraestructura y según su diseño tienen una cantidad determinada de tanques de almacenamiento, y cada tanque tiene instalado una bomba de transferencia para poder descargar el fluido contenido en su interior. Adicionalmente tienen equipos de instrumentación que permiten realizar el monitoreo de transferencia y almacenamiento del fluido, dichos equipos son indicadores de nivel, medidores de presión interna en los tanques y válvulas de alivio de presión. (GOMEZ MOLANO, 2013)

Los buques tanque cuentan con un *manifold* donde se ubican todas las tomas (bridas) correspondientes a cada tanque que tiene el buque quimiquero, en una de las tomas se realiza la conexión de la manguera o brazo de descarga del terminal, habiendo realizado las coordinaciones operativas previas (buque – terminal) se da inicio la operación de transferencia. (Figura 5). (GOMEZ MOLANO, 2013)

Figura 5
Conexiones en manifold del buque



Fuente: (GOMEZ MOLANO, 2013)

Luego de terminada la descarga, se dan las coordinaciones entre el buque y el terminal para realizar las maniobras de desconexión de la manga del *manifold*, una vez que se termina la desconexión y todos los documentos están revisados y firmados, se procede a la maniobra de desamarre y zarpe del buque tanque del terminal portuario. (GOMEZ MOLANO, 2013)

2.1.5 Producción de Ácido Sulfúrico en Nueva Refinería Talara

Como parte del proyecto de modernización de la refinería de Talara se ha desarrollado la unidad de producción de ácido sulfúrico (WSA), un sistema de almacenamiento (ASC) y un sistema de distribución de ácido sulfúrico (AST), el cual se puede observar en la Figura 6.

El sulfuro de hidrógeno necesario para la producción del ácido sulfúrico provendrá de las unidades de aminas, despojamiento de aguas ácidas y de *Flexicoking*.

La transferencia de ácido sulfúrico concentrado producido en las nuevas instalaciones de la unidad WSA se realiza a través de la línea de producto final, haciendo uso de las bombas de producto WSA-P-006-A y WSA-P-006 B a un flujo normal de 12.5 m³/h y flujo máximo de 12.9 m³/h.

El ácido sulfúrico producido por la unidad WSA llegará con una concentración de 98% p/p y una temperatura de 40°C a los tanques de almacenamiento.

Para la unidad de almacenamiento los tanques tendrán una capacidad suficiente para recibir la producción de la planta de ácido (98%), transferir el producto a los usuarios de la refinería y permitir su exportación vía buque de carga mediante bombas a través del muelle 1.

La planta de almacenamiento contará con 3 tanques de almacenamiento y sistemas asociados como lo son bombas y tuberías para que se pueda realizar el envío del ácido sulfúrico hacia el muelle 1 desde donde será comercializada la carga con barcos de 20,000 TM de *Dead weight*, los TAG y capacidades para los tanques de almacenamiento se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2
Tanques y capacidades de almacenamiento

Tanque	Volumen Nominal (Bbls)	Volumen Operativo (Bbls)
ASC-T-001-A	82,031	70,276
ASC-T-001-B	82,031	70,276
ASC-T-002	36,010	34,343
Total 3 Tanques	200,072	174,895

Fuente: (PETROPERU-1, 2019)

El diseño de la nueva unidad de ácido sulfúrico mostrará una flexibilidad operacional ya que tiene líneas independientes que permiten realizar transferencias desde los tanques de almacenamiento ASC-T-001 A, ASC-T-001 B y ASC-T-002 hacia el muelle 1 y simultáneamente hacia las unidades consumidoras internas de la refinería sin afectar la cantidad inventariada para el buque de carga.

La unidad de almacenamiento de ácido sulfúrico (ASC) y la unidad de distribución de ácido sulfúrico (AST) contarán cada una con un sistema de bombeo independiente (bombas de tipo centrífugas).

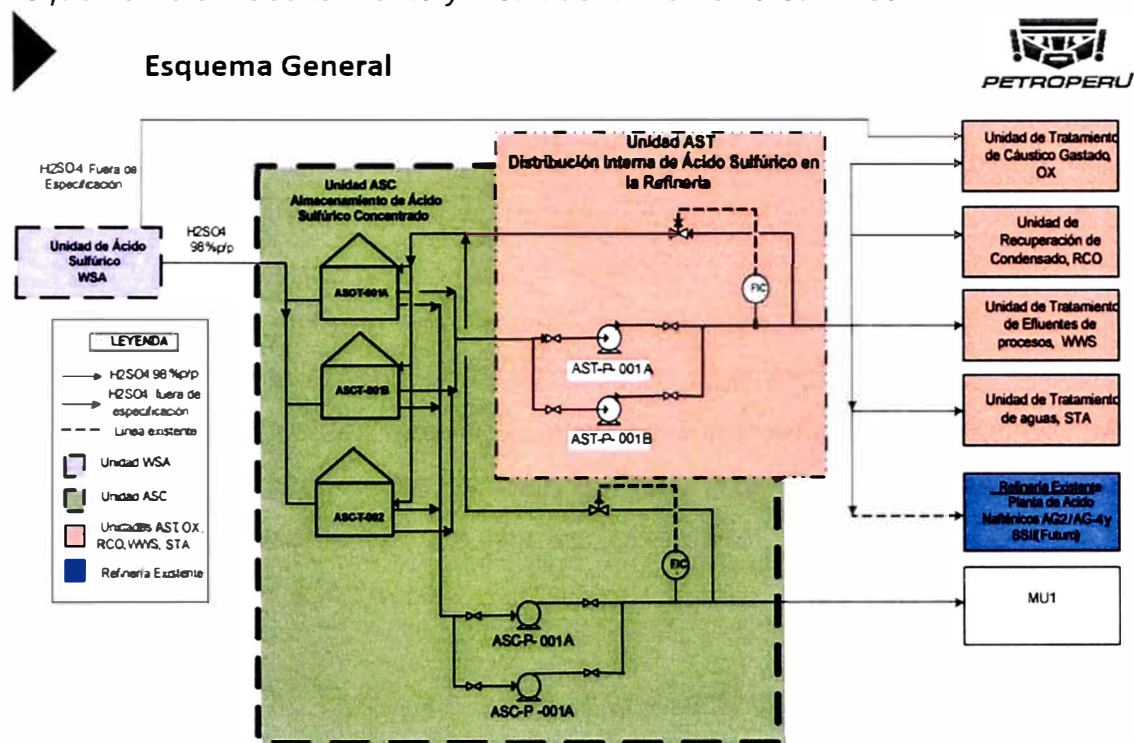
La distribución de ácido a las unidades de procesos y servicios existentes y nuevos se realizará a través de las bombas nuevas AST-P-001 A y AST-P-001 B, la tubería de distribución tendrá un diámetro de 3" y esta llegará a las siguientes unidades:

- Tratamiento de agua (STA – OR2/DM2)
- Recuperación de condensado (RCO)
- Tratamiento de efluentes industriales (WWS)
- Tratamiento de cáustico gastado (OX)
- Unidad de recuperación de ácidos Nafténicos (ANF)
- Tratamiento de purgas (DM1)

Para el envío del ácido sulfúrico hacia el muelle 1 (MU1) para el embarque a buque se utilizarán las bombas ASC-P-001 A y ASC-P-001 B, la configuración de ambos sistemas de bombeo será de 1+1 (1 bomba en operación y otra en *stand by*).

Figura 6

Esquema de almacenamiento y distribución de ácido sulfúrico



Fuente: (PETROPERU-2, 2021)

Para la planta de almacenamiento (ASC) y el sistema de distribución de ácido sulfúrico (AST) se tendrán las siguientes consideraciones de operación:

- El *stock* (volumen) de ácido sulfúrico en un tanque de almacenamiento del cual se está embarcando por el muelle 1 no deberá aumentarse (recibir producción de la planta WSA) ni disminuir (enviar ácido sulfúrico a las unidades auxiliares) ya que la medición del tanque se hace por volumen y se trata de un producto fiscalizado.
- No se debe realizar las operaciones de transferencia en simultaneo de ácido sulfúrico de envío al muelle 1 y a la unidad AST desde el mismo tanque de almacenamiento.
- Un tanque de almacenamiento que se encuentre descargando al sistema AST sí puede recibir producción nueva desde la planta WSA ya que no se tendrá una transferencia inventariada.
- El sistema de control tendrá dos modos de operación seleccionables que se ubicarán en la pantalla del HMI (*Human – machine interface*), el operador al seleccionar un modo de operación se alinearán las válvulas del sistema de transferencia de forma automática. Los dos modos de operación serán:
 - Selector HS-00101 que es el envío de ácido sulfúrico al muelle 1 y contará con cuatro condiciones:
 1. ASC-T-001 A descargando a muelle 1
 2. ASC-T-001 B descargando a muelle 1

3. ASC-T-002 descargando a muelle 1
4. Desactivado: ningún tanque descargando al muelle 1

➤ Selector HS-00102 que es el envío de ácido sulfúrico a las unidades auxiliares y contará con cuatro condiciones:

1. ASC-T-001 A descargando a AST
 2. ASC-T-001 B descargando a AST
 3. ASC-T-002 descargando a AST
 4. Desactivado: ningún tanque descargando a AST.
- El sistema de almacenamiento también contara con un sistema de recirculación entre los tanques de almacenamiento para poder evitar la estanqueidad en las líneas y puedan originar una presurización de estas.
 - Los tanques de almacenamiento contaran con un sistema de inyección de nitrógeno (*blanketing*), el nitrógeno ingresará constantemente mientras se esté realizando la descarga del tanque para así evitar que se generen presiones de vacío en el interior del tanque.
 - El uso del sistema de inyección de nitrógeno al tanque de almacenamiento genera un efecto de disminución de la corrosión que el ácido sulfúrico concentrado ejerce sobre los materiales de los tanques (acero al carbono) ya que no se tendrá una atmosfera con aire, el cual tiene humedad que es atrapada por ácido y genera la reacción.

- Para cuando se estén llenando con ácido sulfúrico los tanques de almacenamiento la presión interna del tanque aumentará y ésta será liberada por la válvula de venteo a la atmosfera.
- El buque tanque quimiquero por lo tanto puede abastecerse de Ácido Sulfúrico desde la nueva Refinería Talara, en lugar de importar Ácido sulfúrico , lo cual es una ventaja de tiempo y costo para la empresa

La unidad de almacenamiento de ácido sulfúrico cuenta con un sistema de neutralización de drenajes, que se describe a continuación:

- El sistema tiene fosas de neutralización que recibirán posibles drenajes del sistema (purgas, vaciados de línea para trabajos de mantenimiento), en las fosas se realizará la regulación del PH de la solución y luego será derivado al sistema de aguas aceitosa (OWS).
- Las 2 fosas de serán las siguientes:
 - Fosa de acumulación ASC-SX-001 A
 - Fosa de neutralización ASC-SX-001 B
- El proceso de neutralización será realizado a través de proceso de lotes (*batches*) y estará automatizado para la adición del insumo neutralizante.
- La fosa de neutralización ASC-SX-001-B contará con un sistema de mezclado para poder homogenizar la solución con el objetivo de que toda la solución que se va a transferir al

sistema de aguas aceitosas contenida dentro de la fosa se encuentre con un pH en el rango de 6 a 10.

- La fosa de acumulación ASC-SX-001 A recibirá el ácido sulfúrico acumulado en el dique de contención común para los tanques ASC-T-001 A, ASC-T-001 B y ASC-T-002 a través de una tubería enterrada.
- Una vez la solución neutralizada se encuentre con el PH requerido, se realizará la transferencia del contenido de la solución directamente a la unidad OWS, esta transferencia se realizará con un control manual ya que se tiene que manipular unas válvulas enterradas.
- El insumo para el proceso de neutralización será el carbonato sódico (Na_2CO_3) .

2.2 Marco Conceptual

- Comisionamiento: Es la etapa durante la cual se realizan las verificaciones y pruebas a los equipos que forman parte de un sistema, todas estas pruebas deben estar documentadas, el objetivo es garantizar que todos los sistemas que conforman el proyecto interactúen entre sí de acuerdo con los diseños, normas, requerimientos del cliente y recomendaciones de los fabricantes. Esta etapa comprende los niveles C1, C2 y C3, el nivel C1 son las pruebas en vacío para cada equipo del sistema, el nivel C2 es el proceso de las pruebas con agua para el sistema y el nivel C3 es la prueba de todo el sistema con carga o el fluido para el cual fue diseñado.
- Puesta en marcha: Es el proceso planificado de arranque, regulación y equilibrio del sistema con carga (con el producto o material a usarse

en la operación). Durante esta etapa se establecerán las revisiones correspondientes para los equipos que no llegaron a su capacidad de diseño y si deben fijar los valores operacionales para las variables del sistema.

- *Manifold* de descarga: También llamados colectores, es el conjunto de válvulas y tuberías que se ubican al final de una línea (punto de conexión y transferencia de un buque tanque), están situados en la medianía del buque y van de costado a costado.
- Bomba *booster*: Es una bomba de refuerzo que se usa para aumentar la presión y con ello el caudal de un fluido en un sistema de tuberías.
- Válvulas PSV: Es una válvula de presión con un dispositivo automático que tiene una entrada y una salida, siendo su función principal disminuir la presión dentro de un sistema. Para su funcionamiento la válvula es accionada por la presión de línea a través de un sistema de pilotaje que abre rápidamente para mantener una presión de línea estable, luego de ello se cierra gradualmente para evitar cambios bruscos de presión.
- Perfil Longitudinal: Son los planos en los que se reflejan las diferencias altimétricas de varios puntos de un sistema de bombeo. Los perfiles longitudinales nos indican el comportamiento del terreno a lo largo de un eje determinado.
- *Camlock couplin*: Este tipo de acople reemplaza al método estándar de unión entre 2 bridas con pernos y tuercas, el acople proporciona una forma más rápida y segura de realizar la desconexión entre 2

bridas (brida de manguera de descarga y brida del *manifold* del buque).

- Protección anódica: Los operadores de terminales de almacenamiento de ácido sulfúrico se enfrentan a los problemas relacionados con la corrosión por lo que al instalar un sistema de prevención de la corrosión se minimizaran los riesgos asociados al tanque de almacenamiento con su estructura comprometida, así mismo también reducir la presencia de hierro que reduce la calidad del ácido almacenado.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño y filosofía de operación del sistema de descarga

3.1.1 Descripción del sistema

El ácido sulfúrico, insumo necesario para la producción de cátodos de cobre en la unidad minera Mina Justa, se descargará desde buques tanque y se almacenará en tanques instalados dentro del terminal portuario, para luego ser transportado por cisternas a la unidad minera.

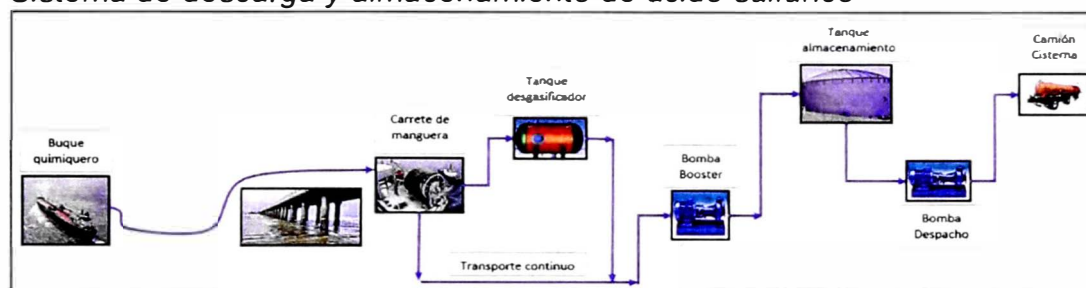
La descarga de ácido se realiza mediante un sistema de bombeo instalado a bordo del buque tanque, el cual es apoyado con un sistema de bombeo (*booster*) en el muelle, ambas estaciones de bombeo consideran un flujo volumétrico de diseño igual a 250 m³/h.

El ácido sulfúrico será descargado por una manguera flotante (*hose multicapa*) de 8" de diámetro interno que se conecta en el *manifold* del buque, hasta el final del muelle, donde se ubica la estación *booster*. La estación *booster* cuenta con dos (2) bombas centrífugas horizontales, bajo el sistema 1+1 (una en operación y la otra en *stand by*).

Desde allí el ácido es transportado hasta los tanques de almacenamiento por una tubería de acero inoxidable de 10 pulgadas (250 mm), tal como se muestra en el esquema de la Figura 6.

Figura 7

Sistema de descarga y almacenamiento de ácido sulfúrico



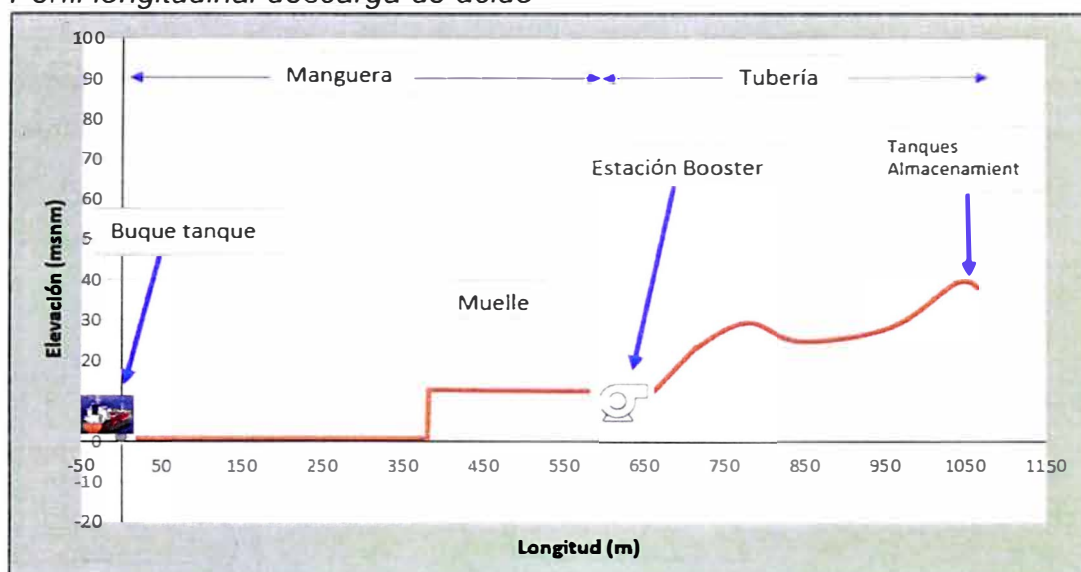
Fuente: Elaboración propia

El sistema cuenta con un carrete ubicado en el muelle para enrollar - almacenar la manguera flotante “hose multicapa” una vez finalice la operación de descarga por parte del buque tanque.

Adicionalmente, el sistema posee una trampa receptora y lanzadora de PIG (elemento desplazador), cuyo objetivo es purgar el ácido remanente contenido en la manguera flotante “hose multicapa” después de cada descarga, de esta forma se evitará su degradación por efecto químico y como medida de seguridad eliminando el riesgo de una posible liberación descontrolada del ácido sulfúrico.

El perfil longitudinal del sistema de descarga de ácido desde el buque hasta los tanques de almacenamiento tiene una longitud aproximada de 1112 metros y se presenta la Figura 7, donde además se pueden observar los principales componentes del sistema.

Figura 8
Perfil longitudinal descarga de ácido



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Características de la tubería

Las características de las tuberías que forman parte del sistema de descarga de ácido sulfúrico desde el *manifold* del buque hasta los tanques de almacenamiento se indican en la Tabla 3:

Tabla 3
Configuración de tuberías del sistema

Sección	Parámetro	Valor
Desde buque hasta la estación <i>booster</i>	Tipo de tubería	Manguera Flotante
	Diámetro interno (mm)	200
	PN (bar)	17
Desde estación <i>booster</i> hasta tanque de almacenamiento	Tipo de tubería	Acero inoxidable A312 TP316L
	Diámetro interno	250
	Espesor (in)	0.365

3.1.3 Equipos de bombeo

Los buques tanque quimiqueros cuentan con tanques de almacenamiento internos, cada uno de estos tanques cuentan con una bomba sumergible y accionadas hidráulicamente que se pueden regular para trabajar en el rango de 0 a 100% de carga. Las características de las bombas del buque son:

- Marca: Framo
- Modelo SD150: Capacidad 300 m³/h.

Los requerimientos que debe cumplir las bombas del buque quimiquero se detallan en la Tabla 4:

Tabla 4
Requerimiento para las bombas del buque

Parámetro	Valor
Presión máxima de Descarga (psi)	111
Flujo máximo (m ³ /h)	250

Fuente: (MARCOBRE, 2019)

Para la estación *booster* las bombas cuentan con un variador de frecuencia (VDF), y tienen las características mostradas en la Tabla 5:

Tabla 5
Características de bomba en estación booster

Tipo de bomba	Nº Bombas	TDH (m)	Q (m ³ /h)	Eficiencia (%)	Potencia hidráulica (kW)
Centrifuga horizontal	1 op + 1 Stand by	29.3	250	70	54

Fuente: (MARCOBRE, 2019)

3.1.4 Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son de material de acero al carbono contruidos bajo la norma API 650 y tienen un sistema de protección anódica que es monitoreado de forma remota. En el terminal se cuenta con 3 tanques y la capacidad de almacenamiento es de 5000 m³ (equivalente a 10,000 TM de ácido sulfúrico).

El sistema cuenta con válvulas de alivio PSV (*pressure safety valve*) cuya función principal es la de mantener la presión del sistema ante un posible incremento debido durante la transferencia. Las válvulas de alivio están distribuidas entre la zona *booster* y la línea de carga de los tanques de almacenamiento.

3.1.5 Sistema de protección anódica

Los tanques de almacenamiento cuentan con un sistema de protección anódica el cual es un sistema de prevención de la corrosión electroquímica que controla la velocidad de corrosión en las superficies de acero al carbono total o intermitentemente sumergidas en ácido sulfúrico.

Esto se logra mediante la aplicación de una corriente eléctrica controlada, que mantiene el potencial de la solución en la interfase acero / ácido en la zona de corrosión pasiva de baja velocidad.

El acero al carbono en ácido sulfúrico concentrado presenta potenciales de solución en la zona de "corrosión activa" lo que produce la corrosión del cuerpo del tanque. Al aplicar corriente continua, el potencial de la solución se mueve hacia la zona de pasivación, donde normalmente las velocidades de corrosión son 10 veces menores.

Para un tanque de acero al carbono conteniendo ácido sulfúrico al 98% la velocidad de corrosión del tanque se encuentra en el rango de 5 mpy (milésimas de pulgada por año equivalente a 0.127 mm/año). Con la

aplicación adecuada de protección anódica, esta velocidad de corrosión se puede reducir a 0.5 mpy o 0.0127 mm/año.

Inicialmente se requiere un nivel alto de corriente continua para desplazar el potencial de la solución hacia la zona pasiva y formar la película pasiva en la pared del recipiente, sin embargo, una vez que el tanque de almacenamiento esta pasivado, la corriente requerida para mantener la película es mínima (normalmente del 1 al 5 % de la corriente inicial).

Las interrupciones de alimentación de 2 a 3 horas generalmente no requieren la repasivación ya que la desintegración de la película pasiva en superficies sumergidas se produce lentamente tras el cese del flujo de corriente.

3.1.6 Criterios generales de operación

La operación normal del sistema se divide en tres etapas: operación inicial, operación de descarga continua y operación final (detención y purgado de ácido). Esta operación, incluye una etapa adicional para el cambio de tanque de almacenamiento durante la transferencia de ácido.

La operación inicial comprende:

1. Presurización de la manguera “hose Multicapa” con aire seco con el fin de poder verificar la integridad y estanqueidad de la manguera cuando se encuentra enrollada en el carrete.
2. Despliegue de la manguera a lo largo del muelle y sobre el mar hasta el borde del buque quimiquero, para este despliegue se tendrá el soporte del remolcador quien realizará la sujeción del extremo inicial de la manguera.
3. Izaje de la manguera que se encuentra flotando en el mar y conexión de esta al *manifold* del buque.

4. Presurización del sistema, inyectando aire seco desde el *manifold* del buque hasta la cámara receptora del PIG, en dicha cámara se tiene un indicador de presión analógico, con el cual se realizará el monitoreo de la presión. Cuando la presión alcance el valor de 3 bar, se detendrá la inyección del aire seco y se observará por un periodo de 20 minutos verificando que no exista un descenso de la presión durante este tiempo, en caso de que la manguera se encuentre en buen estado y no se detecte fuga, verificando la presión con el manómetro del receptor de PIG, proceder con la despresurización de la tubería. Si se detectara una disminución, se debe realizar una verificación de la manguera que se encuentra flotando para detectar algún posible punto de fuga.
5. Se realizará las coordinaciones entre el terminal y el buque para iniciar la descarga, en una primera etapa se realiza el llenado de la manguera desde el *manifold* hasta la zona de bombas *booster*, la presión inicial no debe ser mayor a 2 bar. Luego que se verifique la llegada del ácido a la zona *booster* se preparara el sistema para realizar la descarga de forma continua.
6. Se debe monitorear los siguientes parámetros:
 - Presión de descarga de bomba ubicada en el buque.
 - Presión de succión de bomba ubicada en la estación *Booster*.
 - Presión de descarga de bomba ubicada en Estación *Booster*.
 - Flujo de operación.
 - Nivel de los tanques de almacenamiento.
7. La etapa final se refiere a la detención del sistema y al posterior purgado del ácido de la manguera en el muelle. Esta operación finaliza una vez que se haya purgado todo el ácido de la

manguera “*hose* multicapa” por medio de un PIG desplazador y el sistema completo quede en modo *standby* hasta la próxima recepción de un nuevo buque quimiquero.

3.2 Comisionamiento C1

En esta etapa se realizan las revisiones de las fichas de los equipos instalados (válvulas, bombas, juntas de expansión, instrumentos de medición, etc), el objetivo de esta verificación es identificar anticipadamente que los componentes internos de los equipos sean compatibles con el ácido sulfúrico. En esta etapa se revisarán los manuales de instalación, así como los protocolos de las disciplinas mecánicas y eléctricas realizadas en las pruebas en vacío para los equipos que fueron instalados.

Antes de las pruebas de comisionamiento C1 se debe tener el sistema de control (DCS – sistema de control distribuido) 100% operativo, registrando valores en línea con los lazos de control respectivos para cada módulo.

Adicionalmente se debe asegurar que los sistemas auxiliares como el aire de planta e instrumentación se encuentren en operación previamente al inicio de las pruebas. Los objetivos principales del comisionamiento C1 son:

- Revisar el correcto funcionamiento de las líneas principales de proceso y el control del flujo a equipos principales.
- Verificar arranque y parada de bombas asociadas.
- Revisar la operación continua de equipos.
- Revisión funcional y detección de alguna posible fuga.
- Revisión funcional del sistema de manejo de derrames.

La funcionalidad del sistema será revisada y comparada con los diagramas de flujo de proceso (PFD's) y con la filosofía operacional definida en los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID's).

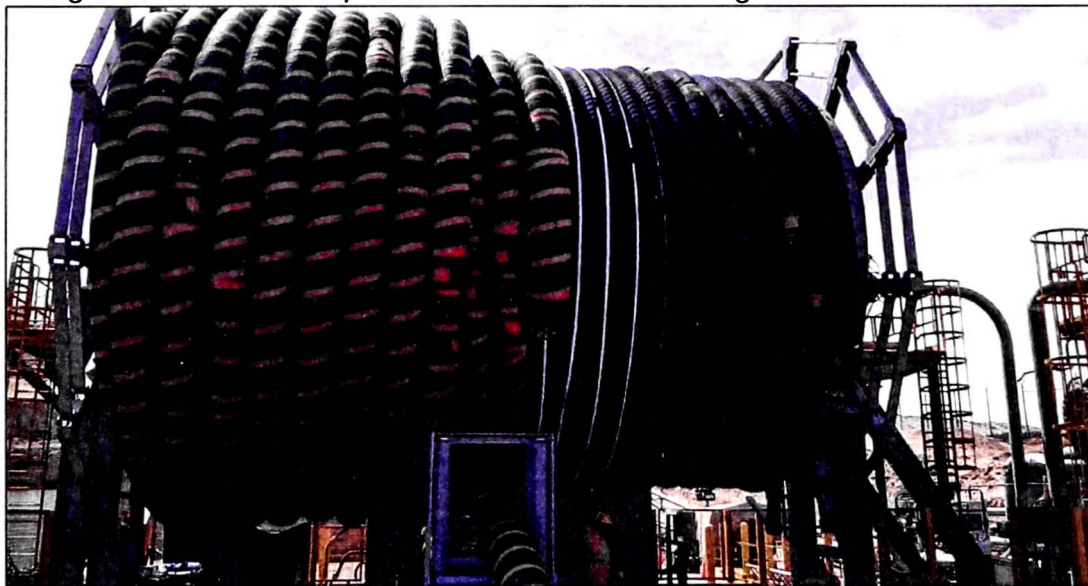
3.3 Comisionamiento C2 - Pruebas con agua (Water Run)

Para la etapa de comisionamiento C2 se consideró la puesta en marcha de todos los subsistemas comprendidos en cada módulo de operación usando agua como fluido de trabajo.

Previo a las pruebas con agua se realizarán las pruebas al carrete (*hose reel*) que almacena la manguera flotante, dichas pruebas serán para verificar el giro horario y antihorario, así como la velocidad de giro, el sistema de desplazamiento de la manguera por la plataforma marina está acompañado por un winche ubicado en el extremo de la plataforma marina y que realizará la acción de halar la manguera hacia el extremo del muelle mientras gira el carrete. El sistema debe funcionar de forma automática para evitar que por la acción manual se produzca una sobretensión en la manguera. Se puede ver la manguera almacenada en el *hose reel* en la Figura 8.

Figura 9

Manguera hose multicapa almacenada en carrete giratorio.



Fuente: Fotografía tomada directamente en planta

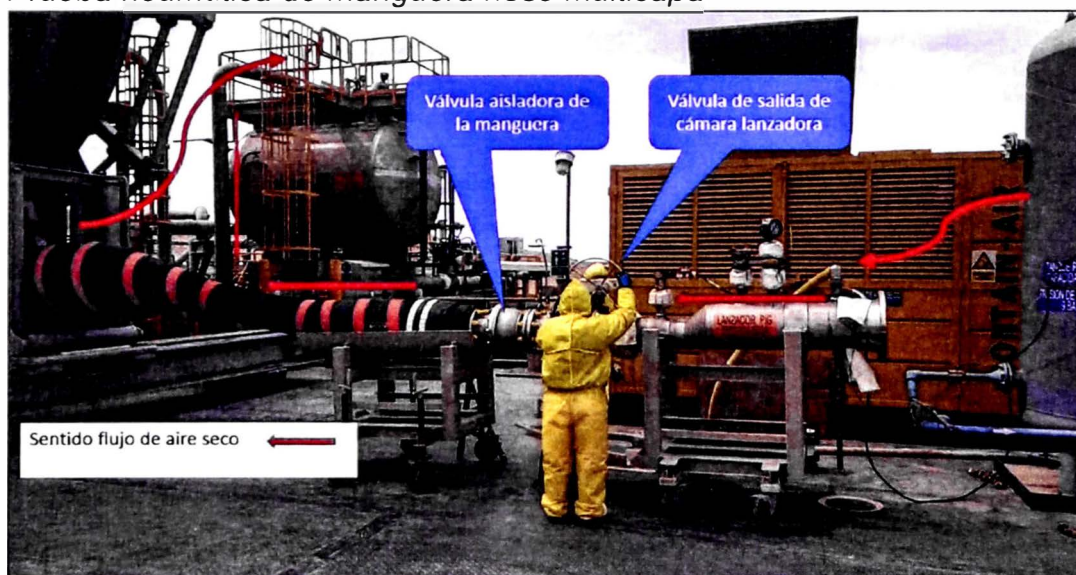
El proceso de prueba se realiza primero en la estación *Booster* y luego en la línea de transferencia y sistema de despacho. A continuación, se detallará cada prueba.

3.3.1 Prueba en la estación *booster*

Esta prueba se puede observar en la Figura 9. Se realiza prueba neumática a la manguera (*hose multicapa*) inyectando aire seco por la cámara lanzadora de PIG, hasta una presión de 3 bar y se verifica la presión en el indicador analógico de presión que se ubica en la cámara receptora de PIG por un tiempo de 15 minutos. Si no se presenta disminución de la presión se dará la prueba por satisfactoria y se procede a la despresurización.

Figura 10

Prueba neumática de manguera hose multicapa



Fuente: Fotografía tomada directamente en planta

Luego de la prueba neumática se llenará la manguera (*hose multicapa*) con agua suministrada por cisternas con un flujo mínimo (máxima presión de la bomba de agua será 2.5 bar) hasta que se tenga el nivel del 60% en el tanque desgasificador.

Teniendo el nivel indicado en el tanque desgasificador se dará a la puesta en marcha de las bombas *booster* para impulsar el agua contenida por la tubería que alimenta a los tanques de almacenamiento.

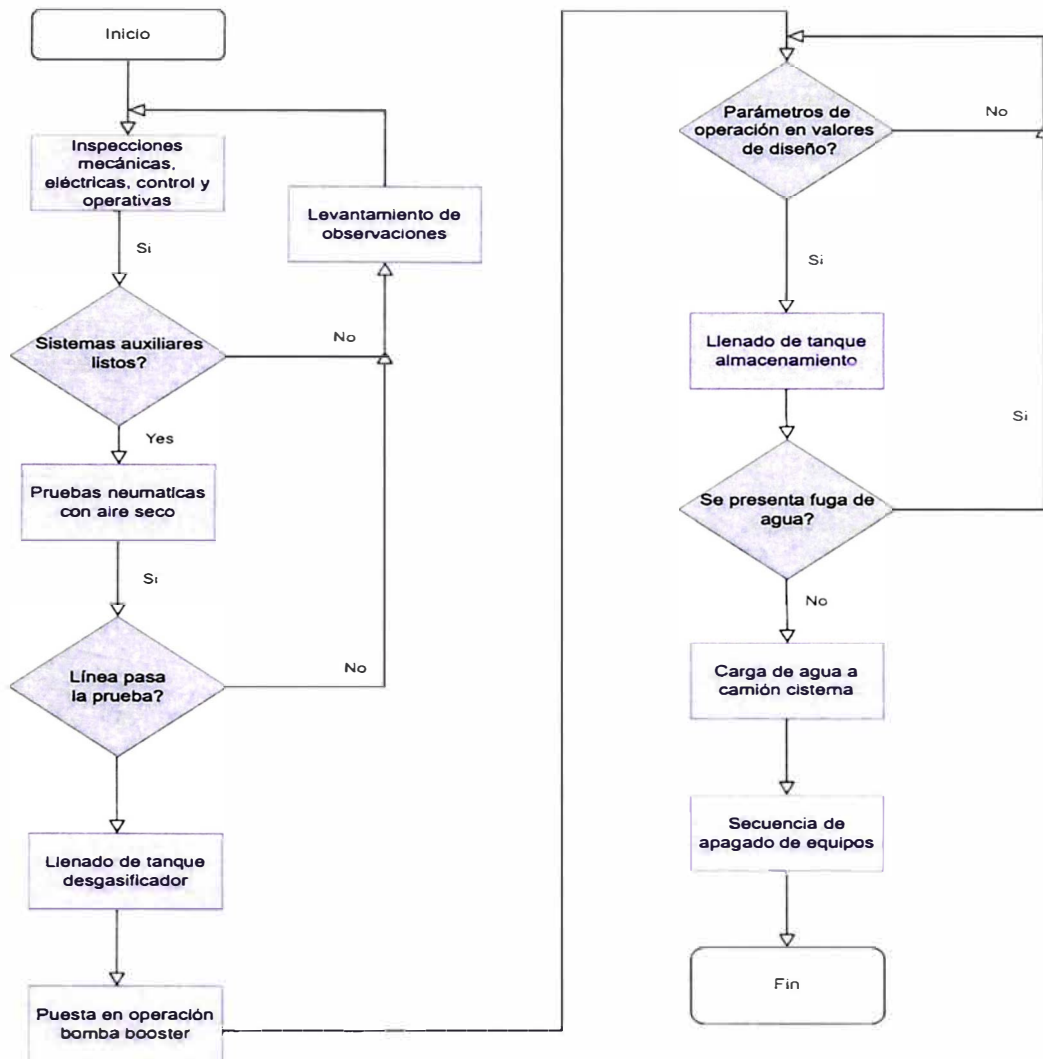
En el proceso de transferencia se verificará los parámetros de operación de la bomba *booster* (presión en la succión entre 1 a 2 bar y la presión en la descarga igual a 6 bar) presión de la línea (5 bar) y flujo del agua (entre 200 a 250 m³/h) que llega al tanque de almacenamiento, se revisará que no se tenga fuga de agua por las tuberías y conexiones del sistema. Este proceso de prueba se realizará hasta que el tanque de almacenamiento llegue a un nivel del 30%. En este proceso también se debe verificar la instrumentación asociado a todo el sistema como indicadores y transmisores de presión, nivel y flujómetros.

3.3.2 Prueba en línea de transferencia y sistema de despacho

Una vez que se tenga el nivel de 30% en el tanque se procederá a poner en marcha (*water run*) del sistema de transferencia de tanque a cisternas, para lo cual se usará una cisterna vacía que se ubicara en la bahía de carga.

En la prueba de carga de cisternas se verificarán los parámetros de operación de las bombas de transferencia, presión en la succión y descarga de la bomba que debe estar entre 30 a 35 psi), el flujo de carga que debe estar entre los 100 a 120 m³/h, y las señales de la instrumentación del sistema como instrumentos de presión, nivel y flujo. En la Figura 10 se muestra el diagrama de flujo del proceso de comisionamiento C2 de forma general.

Figura 11
Diagrama de flujo para el comisionado C2



Fuente: Elaboración propia

3.4 (PETROPERU-1, 2019) Comisionamiento C3 – Prueba con ácido sulfúrico

3.4.1 Preparativos del proceso de descarga de ácido sulfúrico

Luego de haberse realizado el *water run* y haber identificado la operatividad de los equipos del sistema y su lógica de operación, se procederá a establecer los requisitos necesarios para poder realizar la primera descarga de ácido sulfúrico.

Se debe garantizar que previo a la descarga del primer buque, se realice el *flushing* (soplado / purgado del agua contenida con aire seco) de todo el sistema de tuberías y de los tanques de almacenamiento.

Los preparativos para todo el sistema se realizarán de la siguiente manera:

- Se elaborará un plan de descarga que se enviara al agente naviero para que sea transmitido a la línea de mando del buque, dicho plan indicara el tipo de conexión a usar para el *manifold* (*Camlock couplin*), diámetro de la conexión 8", y condiciones para la descarga, presión máxima = 7 Bar y flujo máximo = 250 m³/h
- Verificar que el sistema HPU (Unidad hidráulica de Potencia) del carrete de la manguera y el winche se encuentren 100% operativo para poder realizar el despliegue de la manguera para la conexión al *manifold* del buque.
- Verificar el funcionamiento correcto del compresor de aire que alimenta aire seco para la instrumentación del proceso.
- Verificar que todos los equipos como válvulas, indicadores, transmisores de nivel, presión, flujo del sistema estén operativos y con las señales correctas reflejadas en el sistema DCS.
- Realizar el alineamiento mecánico de las bombas *booster*.

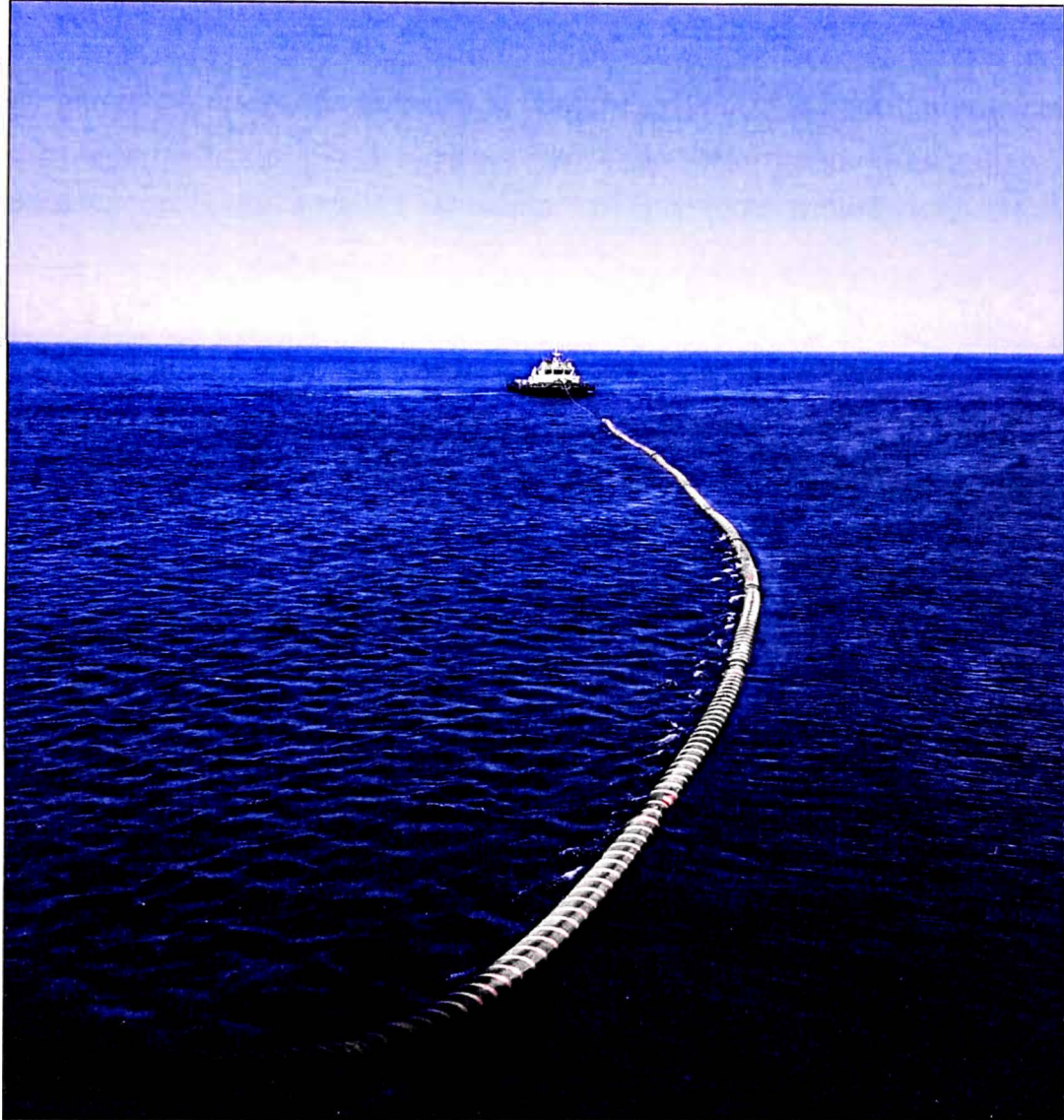
- Verificar el estado listo y disponible del variador de frecuencia (VDF) para los arranques de las bombas *booster*.
- Realizar la verificación que las líneas no contengan remanentes de agua en su interior, para ello se debe proceder con la apertura todos las válvulas de purga de las tuberías.
- Verificar que el interior del tanque de almacenamiento este totalmente libre de agua, para ello se deberá abrir los *manhole* y realizar la inspección interna.
- Verificar que los equipos de respuesta a emergencia se encuentren ubicados en las estaciones correspondientes y que el personal haya sido capacitado en el uso del plan de contingencia.

3.4.2 Maniobras para conexión al *manifold* del buque

La etapa previa al proceso de descarga contempla el arribo del buque tanque con una cantidad de ácido a descargar. El buque realizará la maniobra de amarre a las multiboyas, la confirmación de la maniobra la dará el practico junto con el capitán del buque.

El personal del terminal procederá a abordar el buque, el *loading master* realizará la conferencia pre-transferencia y *check list* de seguridad en la cual se establece las condiciones y parámetros para la operación de descarga y se coordinara el inicio de la maniobra de conexión de la manga 8" al *manifold* del buque, para lo cual la manguera flotante se desplegará por el muelle y sobre el mar con la ayuda del remolcador, el cual sujetará el extremo inicial de la manga hasta que llegue al buque (ver Figura 11).

Figura 12
Despliegue de manguera hacia el buque



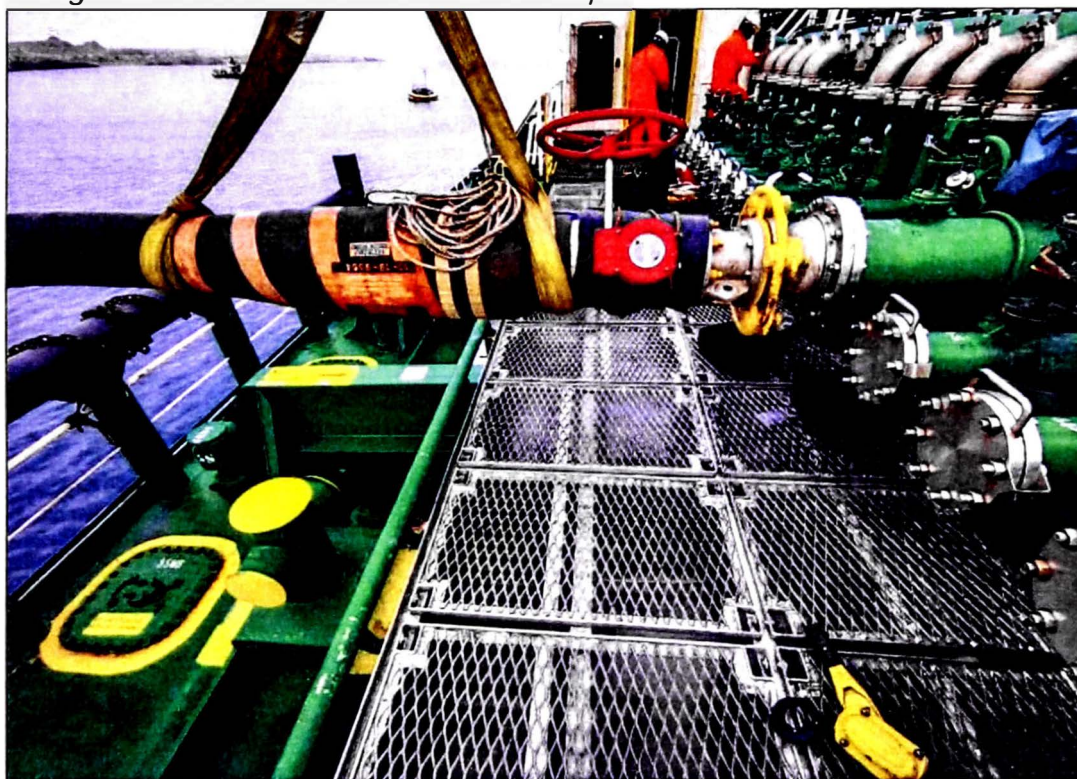
Fuente: Fotografía tomada directamente en planta

Luego de realizada la conexión de la manga al *manifold* del buque se procederá a realizar la prueba neumática inyectando aire seco desde el buque hacia el terminal, la presión debe llegar a 3 bar y mantenerse por un tiempo de 15 minutos, luego de que la prueba sea satisfactoria se despresurizará la manga por el tanque desgasificador abriendo la válvula de venteo hasta que el indicador de presión en la cámara receptora de PIG marque 0 barg de presión.

Una vez que se haya verificado que la manguera se encuentra en condiciones de entrar en operación y las válvulas del sistema se encuentran alineadas para permitir el paso del fluido desde la zona *booster* hacia el tanque de almacenamiento, se indicará al comando del buque para poder iniciar la descarga de ácido. En la Figura 12 se observa la manguera conectada al *manifold* del buque a través del *camlock couplin* (color amarillo).

Figura 13

Manguera conectada al manifold del buque



Fuente: Fotografía tomada directamente en planta

3.4.3 Proceso de descarga

El buque tanque iniciará la descarga a una presión de 2 bar hasta que llegue el ácido al tanque desgasificador y se alcance un nivel de 50%, con esta operación se busca que el aire seco remanente en la manga (producto de la prueba neumática previa) sea purgado hacia el tanque desgasificador por efecto de desplazamiento por parte del ácido sulfúrico. Con el nivel del tanque desgasificador en 50 % se indicará al buque que detenga la descarga.

Con el sistema detenido se deberá realizar el alineamiento de válvulas para direccionar el flujo hacia las bombas *booster*, luego se indicará al comando del buque que puede reiniciar la descarga hasta que se alcance una presión en la succión igual a 1.5 bar para proceder a dar arranque a la bomba seleccionada, se debe monitorear el flujo a través del equipo que se ubica en la zona *booster* y confirmar la llegada del ácido sulfúrico al tanque de almacenamiento seleccionado a través de su indicador de nivel, cuando se tenga un flujo y presiones estables se solicitará al buque que eleve la presión hasta los 7 bar y/o se alcance el flujo de 250 m³/h.

3.4.4 Transporte continuo

En esta etapa se deberán monitorear constantemente los siguientes parámetros, usando un check list similar al mostrado en la Tabla 5:

- Presión de descarga en el *manifold* del buque.
- Presión de succión de la bomba *booster* seleccionada.
- Presión de descarga de la bomba *booster* seleccionada.
- Flujo de operación.
- Nivel en el tanque de almacenamiento

Tabla 6
Control de parámetros de operación

Parámetros de operación						
BOMBA SELECCIONADA	P. succión psi	P. descarga psi	RPM	P. buque BAR	Nivel (%)	T (°C)

Fuente: (MARCOBRE, 2019)

3.4.5 Detención normal del sistema

En la etapa final de la descarga el comando del buque informara al terminal cuando haya terminado y su bomba de transferencia está detenida y se cierre la válvula del *manifold*. El representante del terminal a bordo del buque indicará a su operador que cierre la válvula de aislamiento de la manguera y luego de ello realizará las coordinaciones para proceder a la desconexión de la manga y posterior enrollado sobre el carrete giratorio, cuando se tenga toda la manguera sobre el carrete se realizará la actividad de purgado de ácido.

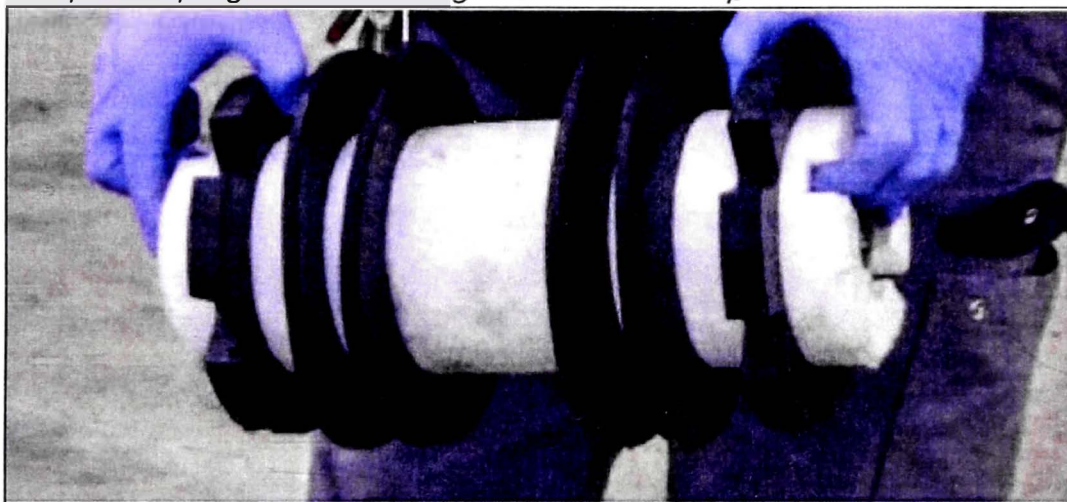
3.4.6 Purgado de ácido de la manga

Una vez se pueda completar el enrollado de la totalidad de la manga sobre el carrete se procederá a conectar la manga a la cámara lanzadora de PIG, se colocará el PIG de limpieza (ver Figura 13) al interior de la cámara lanzadora y se iniciara la inyección de aire seco a una presión de 1.5 bar más respecto a la presión interna que presenta la manga debido al ácido contenido en su interior. Una vez alcanzada la presión necesaria se abrirá la válvula manual de la cámara lanzadora de PIG para que se realice el purgado de la manga, el ácido sulfúrico desplazado ingresara al tanque desgasificador y este será succionado por la bomba *booster* para ser transferido al tanque de almacenamiento, el proceso de purgado terminará con la llegada del PIG a la cámara receptora y posterior retiro de este.

Finalmente se procederá a despresurizar la manga de la misma forma que se realizó previo a la conexión al *manifold* del buque (a través del tanque desgasificador).

Figura 14

PIG para el purgado de la manguera hose multicapa



Fuente: Fotografía tomada directamente en planta

3.5 Manejo y almacenamiento de Ácido Sulfúrico

Luego de completada la descarga del buque, se tendrá el ácido sulfúrico contenido en los tanques de almacenamiento que se usaron en la descarga. Los tanques de almacenamiento son de acero al carbono construidos bajo la norma API 650 y son del tipo atmosféricos. Los tanques de almacenamiento cuentan con los equipos instalados para la protección de su integridad:

- **Ventosa tri funcional:** Instalada en cada tanque para evacuar grandes cantidades de aire durante el llenado de los tanques durante la descarga, además deberá permitir la admisión de aire en gran cantidad durante las operaciones de carguío de cisternas para evitar que se genere el vacío.
- **Protección anódica:** Los 3 tanques de almacenamiento tienen instalados un sistema de protección anódica que consta de unos ánodos de sacrificio

instalados en la plancha de la base del tanque. El nivel en los tanques de almacenamiento no debe ser menor al 10% ya que por debajo de dicho nivel se comenzará a tener desgaste de la capa formada por el propio ácido.

Las condiciones de almacenamiento y del lugar garantizan que la temperatura del producto por efectos ambientales no llegará a superar los 35°C.

Otro factor para tener en cuenta para el funcionamiento de los equipos es la formación de sulfato de hierro, este sulfato normalmente se asentará en el fondo del tanque, pero además esta acumulación puede causar problemas en las tuberías y bombas. Para poder controlar la formación del sulfato de hierro se debe mantener con ácido todas las tuberías para evitar así que entre en contacto con la humedad del ambiente y se pueda dar la reacción.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Revisión de la filosofía de operación del sistema

La etapa inicial de un proyecto inicia con el desarrollo de la ingeniería de detalle, se desarrolla la filosofía de operación, se elaboran los P&ID y PFD. Se debe revisar a detalle todo lo descrito en la filosofía de operación.

La filosofía de operación debe establecer el procedimiento paso a paso de cómo debe funcionar todo el sistema y subsistemas de un proceso productivo según estén definidos dentro de los límites de batería.

Es importante revisar las características y parámetros de diseño de todos los equipos que se describen en la filosofía de operación.

La filosofía de operación del sistema de descarga de buque a tanque de almacenamiento establece los criterios generales de operación del sistema y son:

- La operación de la tubería debe ser presurizada.
- La Estación *Booster* posee una configuración de una (1) bomba en operación y una (1) bomba stand – by.
- Las bombas de la estación *Booster* cuentan con un (1) VDF (variador de frecuencia) para las dos bombas, lo que permite que las partidas y detenciones de los equipos de bombeo se ejecuten de forma gradual y controlada reduciendo así un posible golpe de ariete.
- Cada bomba de los buques quimiqueros pueden regularse para trabajar entre el 0 y 100% de carga. Esta regulación permitirá llenar con bajo caudal la manguera “*hose multicapa*” con ácido (entre barco y estación *booster*).
- Mantener siempre el sistema de tuberías en la Estación *Booster* y la tubería (*pipeline*) entre la Estación *Booster* y los estanques de almacenamiento llena con ácido.
- La operación de drenaje de esta tubería deberá ser realizada solo en casos de emergencia y/o rotura, ya que la tubería con remanentes de ácido y la presencia de la humedad del ambiente
- Después de cada operación de descarga cuando la manguera “*hose multicapa*” se encuentre almacenada en su carrete fijo, se deberá purgar el ácido al interior de la manguera mediante el paso del PIG desplazador. Manteniendo la manguera libre de ácido se garantiza la protección interna (daño químico). La manguera tiene un *spool piece* (carrete) en el cual se encuentran instalados 8 *rubber coupons* (cupones de goma) para poder medir el desgaste que va teniendo el revestimiento interno de la manguera.

4.2 Consideraciones durante el Comisionamiento C1

Luego de haber participado y desarrollado el comisionamiento C1 para la operación de descarga de ácido sulfúrico desde buque quimiquero a tanque de almacenamiento se puede indicar que es necesario revisar todas las fichas técnicas de los equipos y accesorios que componen el sistema.

Para la evaluación se debe tener un equipo de trabajo que incluyan las disciplinas mecánico, eléctrico y de operaciones, la parte mecánica será la encargada de verificar los protocolos de montaje e instalación y aseguramiento de las partes móviles de un equipo.

La parte encargada de la electricidad e instrumentación deberá realizar la verificación de los diagramas unifilares y establece si la carga del equipo está de acuerdo a la ficha, además deberá revisar si los instrumentos de medición tanto analógicos como digitales se encuentran correctamente montados y que los rangos de medición este de acuerdo con el diseño de los mismos.

El área de operaciones realizará la verificación de la resistencia química del material de diseño de los equipos para el fluido de trabajo que será el ácido sulfúrico.

4.3 Resultado de las pruebas del sistema con agua – Comisionamiento C2

Las pruebas con agua del sistema de descarga se realizaron por etapas con los siguientes resultados:

- Prueba neumática de la manguera *hose* multicapa antes del llenado de agua permitiendo verificar que no se presente alguna fuga por las uniones bridadas entre mangueras.

- Pruebas de apertura y cierre de todas las válvulas que se encuentren en el sistema, luego se debe
- Llenado con agua de la de la manguera y tanque desgasificador hasta las bombas *booster*, esta prueba permite la verificación de no fugas por las uniones bridadas en las tuberías y por las conexiones de los instrumentos de control para los parámetros de presión, flujo y nivel.
- Las pruebas de transferencia de agua desde las bombas *booster* hasta los tanques de almacenamiento permiten revisar los parámetros de operación de la bomba, las presiones al ingreso y salida, así como el caudal de acuerdo a los rpm que se configuren con el VDF (variador de frecuencia).
- Para el proceso de llenado del tanque de almacenamiento con agua se debe verificar las señales de los instrumentos de medición de nivel.

4.4 Hallazgos y resultados durante el Comisionamiento C3

En el desarrollo de la etapa de pruebas con ácido sulfúrico para el sistema de descarga de buque quimiquero a tanque de almacenamiento se tuvieron los siguientes hallazgos y resultados:

- Se desarrolló toda una etapa de drenado, purgado y secado del agua que se usó para las pruebas del comisionamiento 2, ya que el ácido sulfúrico tiene como riesgo específico que no debe tener contacto con el agua ya que genera una reacción exotérmica y ese calor podría dañar algún componente del sistema como lo son las empaquetaduras y/o oring's de conexión.
- La conexión de la manguera *hose* multicapa al *manifold* del buque es a través del *camlock couplin* bajo un procedimiento según el manual del equipo y se prueba su hermeticidad con la

prueba neumática antes de iniciar la descarga (3 bar de presión en toda la manguera por 20 minutos).

- Para el llenado con ácido de la manguera *hose* multicapa con ácido sulfúrico, se inicia la descarga del buque a la presión de 2 bar, el proceso de llenado se debe dar lentamente hasta que los indicadores de presión y de nivel del tanque desgasificador muestren alguna variación con lo cual se podría concluir que ya llegó ácido a la estación *booster*.
- Para iniciar la transferencia de ácido desde la estación *booster* se debe tener una coordinación continua con el comando del buque quimiquero ya que el proceso de descarga es en serie, inicio de la bomba de descarga del buque e incremento de presión y en simultaneo arranque de la bomba *booster* e incremento de los rpm con el VDF para incrementar la presión y el ácido sulfúrico tenga el recorrido de toda la tubería hasta el tanque de almacenamiento.
- Las válvulas PSV que se ubican en la estación *booster* deben estar en constante inspección ya que en la etapa inicial se tiene en el sistema una gran cantidad de aire que ocupa las tuberías y esto puede originar sobrepresiones y/o golpes de ariete.
- Durante el proceso de *ramp up* hasta llegar a la presión y caudal máximo según diseño durante la primera descarga se deben planear inspecciones constantes por las uniones bridadas de la manguera *hose* multicapa y la tubería para identificar alguna posible fuga de ácido.
- Para el proceso de llenado hasta el nivel máximo del tanque de almacenamiento se debe realizar la coordinación con el comando del buque para que disminuya la presión para así tener un caudal controlable para poder realizar el cambio de tanque manipulando las válvulas según el procedimiento.
- Luego de finalizada la descarga se realiza el soplado desde la nave hacia planta con el fin de liberar de ácido sulfúrico la

conexión entre la manguera y *manifold* del buque, esta acción se debe controlar con el incremento de nivel en el tanque desgasificador, ya que al subir el nivel indicara que el ácido está siendo desplazado desde el *manifold* hacia el terminal.

- El volumen de toda la manguera *hose* multicapa es de aproximadamente 23 m³, después de realizar el soplado de la manguera para la desconexión, considerando la diferencia de niveles en el tanque desgasificador (capacidad de 19 m³), se determina que el remanente de ácido en la manguera *hose* multicapa es de aproximadamente 4 m³. El ácido desplazado que ingresa al tanque desgasificador es transferido con las bombas *booster* al tanque de almacenamiento seleccionado.
- El remanente de ácido que queda contenido en la manguera será transferido al tanque de almacenamiento durante el proceso de purgado con el PIG desplazador.

CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo del TSP se ha descrito el desarrollo de la puesta en marcha del sistema de descarga de ácido sulfúrico de buque a tanque, este desarrollo se basó en la descripción de las 3 etapas del comisionamiento (C1, C2 y C3), en cada etapa se describió las actividades más relevantes, así como la información indispensable a revisar previo a las pruebas en vacío y en el *water run* del sistema.
- Para los preparativos antes del desarrollo de la primera descarga se debe considerar las pruebas en vacío de los equipos y asegurarse de contar con todos los protocolos de las pruebas realizadas por todas las disciplinas asignadas (mecánico, eléctrico y operacional) ya que de no contar con algún protocolo realizado se corre el riesgo de falla para un equipo y por consiguiente un riesgo alto de seguridad para el personal e impacto medio ambiental.
- Para lograr un resultado óptimo de las pruebas de comisionamiento C3 del sistema de descarga de ácido sulfúrico se debe realizar de forma continua las inspecciones a todos los equipos, a su vez desarrollar el *ramp up* del proceso de descarga en constante coordinación con el comando del buque quimiquero respecto a los incrementos de presión y flujo.
- Para la etapa final de la descarga de ácido sulfúrico se desarrolló el procedimiento de cómo realizar el purgado del remanente de ácido contenido en la manguera mediante el *flushing* (soplado con aire desde el buque hacia la estación *booster*) y luego de haber enrollado la totalidad de la manguera en el carrete la limpieza interna con el uso del PIG que es desplazado con aire seco en la misma estación *booster*.
- Para el almacenamiento del ácido sulfúrico en el terminal durante y después de terminada la descarga, se describió la capacidad de

almacenamiento y los equipos con los que se cuentan para la protección de la integridad del tanque, el mantenimiento programado de los equipos como la ventosa tri funcional (mantener en equilibrio la presión interna) y el sistema de protección anódica (control de corrosión estructural interna) podrán garantizar que la integridad del tanque.

- Se ha incluido en este trabajo la producción de Ácido Sulfúrico en la Nueva Refinería de Talara, y la posibilidad de abastecer desde el Muelle 1 de la Refinería a los buques quimiqueros en lugar de importar el ácido sulfúrico, con lo cual se ahorra tiempo de viaje y menores costos de fletes para la empresa Marcobre S.A.C.

RECOMENDACIONES

- Para el inicio del proceso de comisionamiento C3 se debe asegurar la implementación de sistemas de bloqueo (control operacional) en las válvulas de purga que forman parte del sistema de descarga de ácido sulfúrico a fin de evitar una incorrecta manipulación que pueda originar algún riesgo de seguridad y/o impacto medio ambiental.
- Se debe considerar como un factor indispensable antes de iniciar el proceso de comisionamiento C3 que todo el personal participante de las operaciones debe haber recibido la capacitación sobre la filosofía de operación y el funcionamiento de los equipos que forman parte del sistema de descarga.
- Cuando se trabajan con mangueras flexibles y de gran longitud es importante planificar la realización de una inspección interna con un PIG inteligente o PIG con cámara, ya que durante el montaje pueden haber tenido golpes o en las pruebas de comisionamiento C2 se puede someter a una presión mayor que originen un daño interno, y este daño se incrementa con las condiciones de operación en la descarga del buque quimiquero.
- En el sistema de descarga de ácido sulfúrico se cuentan con las válvulas PSV que se ubican en la estación *booster* y en la línea de carga a los tanques de almacenamiento, y su función es aliviar o controlar cualquier incremento de presión durante la descarga del buque quimiquero, debido a las propiedades del ácido sulfúrico este contiene y arrastra partículas en suspensión se recomienda que las válvulas PSV no sean pilotadas ya que el sistema de pilotaje tiene una alta probabilidad de presentar obstrucción por las partículas o se sulfatarse provocando que la válvula en algún

momento determinado quede abierta y origine un desfogue de ácido de forma continuo.

- Para sistemas con manguera enrollada (espiral) durante el enrollado con giros del carrete se tiene la posibilidad de que se genere vacío en el interior de la manguera, este vacío hará imposible que se pueda purgar la manguera con el uso del PIG, para eliminar el vacío interno de la manguera se deberá desplegar la manguera y extender sobre el mar y volver a realizar el enrollado verificando la presión en la cámara receptora del PIG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABS. (2002). *ABS SURVEYOR*.

BALLESTEROS SANTANA, P. (2021). *PROCEDIMIENTO DE CARGA Y DESCARGA*.

DORTA RAMALLO, R. (2018). *ELEMENTOS DE LA CARGA Y LA DESCARGA EN EL B/Q TENERFE*.

ENCYCLOPEDIA.COM. (2023). Obtenido de <https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/chemistry/compounds-and-elements/sulfuric-acid>

FCAB. (2022). Obtenido de <https://www.fcab.cl/2018/11/12/fcab-realizo-simulacro-de-emergencia-por-derrame-acido-sulfurico-en-portezuelo/>

GOMEZ MOLANO, F. (2013). *OPERACIONES Y PAUTAS DE MANEJO REQUERIDAS EN BUQUES TANQUE QUIMICUROS*.

Haynes, W. M. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*.

LEON CASTILLO, J., & SEBASTIA BENITO, J. (2021). *DESCRIPCION Y ANALISIS DE LA OPERATIVA DE UN BUQUE COT (CHEMICAL OIL TANKERS) EN EL PUERTO DE BARCELONA: MANIOBRA, CARGA/DESCARGA Y DOCUMENTACIÓN*.

MARCOBRE. (2019). *OPERACION PUERTO - FILOSOFIA DE CONTROL*.

MÉNDEZ CASANOVA, A. (2016). *OPERACIONES DE CARGA/DESCARGA EN UN BUQUE PETROLERO "GUANARTEME"*.

MOTT, R. (2006). *MECANICA DE FLUIDOS*.

PETROPERU-1. (2019). *SISTEMA DE DISTRIBUCION DE ACIDO SULFURICO - AST*.

PETROPERU-2. (2021). *PLANTA DE ALMACENAMIENTO*.

SALONHOGAR. (2022). Obtenido de <http://www.salanhogar.com/ciencias/quimica/acidosulfurico/controlyprevencion.htm>

ZAMORA SARABIA, P. (2017). *PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DE LNG EN UN BUQUE METANERO*.