

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

REDISEÑO DE LA PLANTA FOR-1 PARA PROCESAR LOS LODOS PROVENIENTES DEL SNEA Y DEL F.O.R DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN, EN LA REFINERÍA EL PALITO.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Silva C. Geovanny G.
Galindo R. Miguel J.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

REDISEÑO DE LA PLANTA FOR-1 PARA PROCESAR LOS LODOS PROVENIENTES DEL SNEA Y DEL F.O.R DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN, EN LA REFINERÍA EL PALITO.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Luí́s Garća
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jorge Laguna

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Silva C. Geovanny G.
Galindo R. Miguel J.
Para optar al T́tulo
de Ingeniero Qúmico

Caracas, 2011

Caracas, 26 de Octubre de 2011

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de grado presentado por los Bachilleres, **Miguel J. Galindo R.** y **Geovanny G. Silva C.**, que tiene como título:

“REDISEÑO DE LA PLANTA FOR-1 PARA PROCESAR LOS LODOS PROVENIENTES DEL SNEA Y DEL F.O.R DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN, EN LA REFINERÍA EL PALITO”

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

Profesora María Rincón

Jurado Principal



Profesor Luis García

Tutor Académico

Profesor José Sorrentino

Jurado Principal



Facultad de Ingeniería
Universidad Central de Venezuela

UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Comisión de Investigación y
Desarrollo



Escuela de Ingeniería Química
Departamento de Diseño y
Control de Procesos

Proyecto Nro.:

25-III-2010

Constancia de aprobación de Proyecto.

Por la presente se le(s) comunica que el Consejo de Escuela en su Sesión de fecha 26/01/2011, aprobó el Proyecto de Investigación que se detalla a continuación:

<i>Título:</i> "Rediseño de la planta Fuel Oil Residual (FOR-1) para processar los lodos del Sistema de Neutralización de Efluentes Ácidos (SNEA) de la Unidad de Alquilación, PDVSA Refinería El Palito".		
<i>Área:</i> Refinación de Petróleo.		
<i>Nivel (de grado, Especialidad, Maestría, Doctorado)</i> Trabajo Especial de Grado		
<i>Lugar de ejecución y teléfono</i> Refinería El Palito. El Palito, estado Carabobo.		
<i>Tutor(es)</i> Luis V. García B. Jorge Laguna	<i>Estudiante(s):</i> Miguel J. Galindo R. (CI. 18269386) Geovanny G. Silva C. (CI. 18544195)	
JURADOS		
#	Principales	Suplentes
1	Luis V. García B. Jorge Laguna	El (los) Tutor (es) no tienen suplente (s)
2	María E. Rincones C.	Henry A. Blanco S.
3	José A. Sorrentino R.	Armando J. Vizcaya S.

Constancia dada en la Ciudad de Caracas el 27 de enero de 2011, para los fines administrativos pertinentes.



[Handwritten signature]

Jefe del Dpto. de Diseño y Control de Procesos

Constancia solo válida con la firma y el sello húmedo correspondiente
Con Copia a: Tesista(s), Jefe del Dpto. de Diseño y Control de Procesos



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Ciudadano:
Prof. José Ángel Sorrentino
Director Presidente y Demás Miembros
Consejo de Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
U.C.V
Presente.-

Estimados Consejeros nos dirigimos muy respetuosamente a Ustedes, en la oportunidad de solicitarles formalmente y de acuerdo a la Normativa interna para la Evaluación de Trabajos Especiales de Grado de la Escuela de Ingeniería Química, la evaluación para otorgar **Mención Honorífica** al Trabajo Especial de Grado desarrollado por los Bachilleres **Geovanny Silva y Miguel Galindo**, intitulado **“REDISEÑO DE LA PLANTA FOR-1 PARA PROCESAR LOS LODOS PROVENIENTES DEL SNEA Y DEL F.O.R EN LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN, REFINERÍA EL PALITO”**.

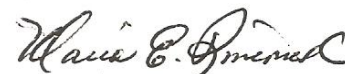
La defensa del Trabajo Especial de Grado se realizó el miércoles 26 de octubre de 2011 cumpliendo con los requisitos y lineamientos establecidos en el reglamento arriba mencionado. Considerando la ejecución, presentación y utilidad del T.E.G., se le asignó la nota máxima obtenible de **Veinte (20)** puntos con una propuesta a Mención Honorífica como reconocimiento a la excelencia del trabajo.

El Trabajo Especial de Grado desarrollado por los **Bachilleres Geovanny Silva y Miguel Galindo** permitió establecer una propuesta técnica, económica y ambientalmente factible, para solventar el problema del tratamiento de las aguas provenientes de la planta de alquiler, de los lodos del Sistema de Neutralización de Efluentes (SNEA) y del reservorio FOR. Todas las propuestas planteadas para solventar los problemas abordados en este Trabajo Especial de Grado, fueron aceptadas por la Gerencia Técnica de la refinería y llevadas a cabo.

Adicionalmente, demostraron compenetración con el tema, sólidos conocimientos y capacidad de trabajo en equipo, y el criterio que necesitan los ingenieros para desenvolverse en su profesión.

Agradeciéndoles de antemano la atención que se sirvan prestar a esta solicitud, se despiden

Atentamente,


Profesora María Rincones
Jurado Principal


Profesor José Sorrentino
Jurado Principal

Silva C. Geovanny G, Galindo R. Miguel J.

**REDISEÑO DE LA PLANTA FOR-1 PARA PROCESAR LOS
LODOS PROVENIENTES DEL SNEA Y DEL F.O.R DE LA
UNIDAD DE ALQUILACIÓN, EN LA REFINERÍA EL PALITO.**

**Tutor Académico: Prof. Luís García. Tutor Industrial: Ing. Jorge Laguna. Tesis,
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año
2011, 105 pág.**

Palabras claves: Sistema de neutralización de efluentes de alquilación, Laguna FOR, Planta FOR-1, Lodos, Refinería El Palito, Tratamiento de Aguas.

Resumen

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo rediseñar la planta FOR-1 para el procesamiento de lodos SNEA y del FOR en la unidad de alquilación, PDVSA refinería El Palito. La Investigación se desarrolló bajo la modalidad de “Proyecto Factible” y se dividió en cuatro fases. En la primera fase se hizo un diagnóstico en las plantas FOR-1 y el SNEA, a través de un estudio de criticidad. En la segunda fase se identificaron las mejoras de procesos y equipos de la planta FOR-1 a fin de que se puedan procesar los lodos generados en el SNEA y el FOR-1, en la tercera fase se establecieron las mejoras a la planta FOR-1. La cuarta fase se orientó hacia la realización de un análisis preliminar de los principales riesgos ocupacionales en la planta FOR-1 y un estudio del impacto ambiental que tienen los lodos en el relleno sanitario en el cual serán dispuestos. A partir del diagnóstico realizado se observó que el SNEA no cuenta con un procedimiento adecuado para la disposición final de sus lodos. La planta FOR-1 se encuentra fuera de servicio por problemas en el filtro de banda, debido a que, el lodo entraba al filtro con una humedad mucho mayor a la permitida por el filtro. Los problemas de exceso de humedad en el lodo provienen de la suma de varios factores como: mal uso de los polímeros para la floculación y que el sistema paquetizado de espesador de lodo fue sacado de servicio. Todo esto ha llevado a que el reservorio FOR se encuentre en una situación crítica, de mucho riesgo humano y ambiental. Entre los principales resultados se encuentran: El diseño de un sistema de tubería y de un sistema de bombeo para tratar los lodos generados en el SNEA y en la planta FOR-1. Para la recomendación de reactivación del sistema espesador de lodos, se determinó que el mejor polímero para la floculación de los lodos es el Novus CE2680. Se estableció que los lodos no generan ningún tipo de impacto negativo en relleno sanitario donde son dispuestos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	viii
CAPITULO I.....	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	6
CAPITULO II.....	8
2.1 MARCO TEÓRICO	8
2.1.1 SISTEMA DE CARGA Y TRATAMIENTO	8
2.1.1.1 NEUTRALIZACIÓN DE HF:	9
2.1.1.2 PRECIPITACIÓN DE FLUORUROS:	10
2.1.2 MANEJO DE LODOS	10
2.1.2.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE BANDAS	10
2.1.2.2 TRATAMIENTO DE LODOS	11
2.1.2.3 ENSAYOS DE JARRAS	12
2.1.3 MANEJO $CaCl_2$	14
CAPITULO III	16
MARCO METODOLÓGICO	16
3.1 METODOLOGÍA	16
3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	16
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	16

3.4 PROCEDIMIENTO	17
CAPITULO IV	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
4.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.7.1 CONCLUSIONES.....	55
4.7.2 RECOMENDACIONES.....	56
CAPITULO V	57
MATERIALES DE REFERENCIA, APÉNDICES Y ANEXOS	57
5.1 BIBLIOGRAFÍA.....	57
5.2 APÉNDICE.....	59
Apéndice A	59
A.1. MODELO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA TUBERÍA.....	61
A.2. MODELO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA BOMBA PARA TRANSPORTAR LOS LODOS DEL SNEA HACIA LOS REACTORES DEL FOR-1	69
Apéndice B	75
Apéndice C	77
Apéndice D	78
D.1.-DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES ÁCIDOS (SNEA)	91
5.3 ANEXOS	94
Anexo N° 1.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Características de los lodos del SNEA.	4
Tabla N° 2. Parámetros de diseño del filtro M-7709	11
Tabla N° 3. Índice de floculación de Wilcomb. (Arboleda, 2000)	13
Tabla N° 5. Resultado de Diámetro y Velocidades en la Tubería	41
Tabla N° 6. Resultados del dimensionamiento preliminar de la bomba	42
Tabla N° 9. Resultados de los ensayos realizados para la selección del polímero a una dosis correspondientes a 100rpm.	45
Tabla N° 10. Matriz de selección en base a los resultados obtenidos en los ensayos de jarras.	45
Tabla N° 11. Equipos necesarios para la nueva planta FOR-1.	47
Tabla N° 12. Evaluación de riesgos.	52
Tabla N° 13. Parámetros para la evaluación de los riesgos identificados	52
Tabla N° A1 Datos Iniciales para el Procedimiento de Diseño	59
Tabla A2. Régimen de Flujo de Lechadas en Tubería Horizontal	64
Tabla A.3. Resultados del Tanteo para Lechada Compacta en Flujo Homogéneo	66
Tabla A.4. Resultados del Tanteo para Lechada Diluida en Flujo Homogéneo	68
Tabla A.5. Resultados para la lechada en Flujo Heterogéneo	69
Tabla A6. Resultado de Diámetro y Velocidades en la Tubería	69
Tabla A7. Resultados del dimensionamiento preliminar de la bomba	74
Tabla N° 7. Característica de los polímeros suministrados.	75
Tabla N° 8. Precio de los polímeros, volumen y costo total para la preparación de cada jarra.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Diagrama del equipo de los ensayos de jarras	13
Figura N° 2. Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido en la coagulación-floculación. (Arboleda, 2000).....	14
Figura N° 3a. Esquema de las plantas FOR-1 y SNEA	35
Figura N° 3b. Esquema simplificado de las modificaciones al FOR-1 y el SNEA....	37
Figura A.1. Coeficiente de Arrastre para esferas rígidas con los cálculos obtenidos.	63
Figura A.2. Factor de corrección para la velocidad de sedimentación obstaculizada para el valor de λ del caso de estudio	64
Figura A.3. Factor de viscosidad Relativo a la Lechada para el valor de λ del caso de estudio.	65
Figura A.4. Factores de Fricción para tuberías de Acero Comercial para los valores dados del tanteo realizado	67
Figura A5. Isométrico para la interconexión de SNEA con la planta de pretratamiento de aguas del FOR	73
Figura B1. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1563	94
Figura B2. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero N-2680	94
Figura B3. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Polyfloc CE1154.....	95
Figura B4. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Novus CE2666.....	95
Figura B5. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1543	96
Figura B6. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1538	96
Figura B7. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1544	97

INTRODUCCIÓN

En este Trabajo Especial de Grado se planteó el rediseño de la Planta FOR-1 para el procesamiento de los lodos del SNEA y para seguir procesando las aguas del reservorio FOR, como había sido concebido en su diseño inicial. Adicionalmente, se determinó la factibilidad técnica y ambiental que conlleva el rediseño de la planta FOR-1 y se realizó un análisis de los potenciales riesgos ocupacionales asociados a la operación de la planta FOR-1 rediseñada.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados para el rediseño de la planta FOR-1, se realizó un estudio de criticidad en la planta, el cual permitió identificar y determinar las debilidades y las potencialidades del sistema, luego, se elaboró un análisis de riesgos generales, basado en encuestas y entrevistas al personal que labora cerca de la zona y personal que laboró cuando la planta estaba activa, adicionando un estudio de factibilidad técnica y ambiental, basado en un estudio de los equipos disponibles en la planta para la parte de la factibilidad técnica y un estudio físico-químico, con el cual se determinó el efecto que podrían producir los lodos deshidratados al ser dispuestos como relleno sanitario. Por otra parte, se determinó la dosificación y selección del mejor polímero floculante. Por último se analizarán y se modificarán los diagramas de flujo de proceso (DFP) y los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) a fin de establecer las modificaciones que se planteen luego del rediseño.

En la refinería El Palito existe una laguna de acopio de aguas fluoradas provenientes del proceso de alquilación. A este reservorio se le denomina FOR. En la actualidad el nivel del reservorio ha incrementado de manera sostenida constituyendo una amenaza para el ambiente y para las poblaciones ubicadas en la vecindad de la refinería.

Para su mejor comprensión este trabajo fue dividido en cinco capítulos. En el capítulo I se muestran los fundamentos de la investigación, en el capítulo II se muestran los fundamentos teóricos, capítulo III contiene el marco metodológico, el capítulo IV tiene los resultados y discusiones, mientras que el capítulo V contiene los anexos.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Planta de tratamiento de aguas residuales Fuel Oil Residual (FOR-1) fue instalada para disminuir el contenido de fluoruros de las aguas provenientes de la unidad de alquilación, antes de enviarlas a la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE). Estas aguas de alquilación primero se almacenaban en el reservorio F.O.R y después desde el reservorio se enviaban a la planta F.O.R-1 para ser tratadas. En el año 2004 se instaló en la refinería El Palito el Sistema de Neutralización de Efluentes Ácidos (SNEA) para tratar las aguas de la unidad de Alquilación antes de ser enviadas a la PTE, luego de lo cual se dejó de enviar aguas de alquilación al FOR. Debido a las discontinuidades operativas y paradas de la planta FOR-1, el reservorio F.O.R se convirtió en una gran laguna que contiene aguas de alquilación mezcladas con agua de lluvia, esta mezcla presenta un elevado contenido de fluoruros. Es por esto que la planta FOR-1 se destinó al tratamiento de las aguas almacenadas en el reservorio F.O.R.

El tratamiento de las aguas de alquilación en el SNEA y las aguas del reservorio F.O.R se lleva a cabo mediante la precipitación de los iones fluoruros (F^-) como fluoruro de calcio (CaF_2) usando cloruro de calcio ($CaCl_2$) mediante la siguiente reacción: $CaCl_{2(ac)} + 2F^-_{(ac)} \Rightarrow 2Cl^-_{(ac)} + CaF_{2(s)} \downarrow$ Como se observa en la reacción la neutralización del fluoruro que se realiza tanto en el SNEA, para las aguas de alquilación, como en el FOR-1, para las aguas almacenadas en el reservorio F.O.R, se forma un lodo, fluoruro de calcio (CaF_2), el cual se considera que es relativamente inofensivo debido a su insolubilidad extrema, por lo que, puede ser dispuesto a un relleno sanitario. Sin embargo, este lodo por su alto contenido de humedad no puede ser enviado directamente al relleno sanitario según lo establecido en la ley penal del ambiente.

Por lo señalado anteriormente, la Refinería El Palito no cuenta con un proceso para eliminar el exceso de líquido en los lodos provenientes del SNEA y del FOR, es por ello que el objetivo general de este Trabajo Especial de Grado es rediseñar la planta FOR-1 sin afectar su filosofía operativa, para que pueda procesar ambos lodos.

1.2 ANTECEDENTES

La planta de FOR-1 fue diseñada en el año 1988 y puesta en marcha en el año 2000, su objetivo primordial fue el procesamiento de las aguas del F.O.R a manera de pretratamiento para la disminución de la cantidad de fluoruros, para que estas aguas puedan ser enviadas a la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE) para su tratamiento y final disposición.

Originalmente, la planta fue diseñada para trabajar con cloruro de calcio $CaCl_2$ y un polímero para la promover la aglomeración o floculación y formar los lodos de fluoruro de calcio CaF_2 . El agua libre de fluoruro (menos de 50 ppm) puede ser enviada a las PTE y el lodo puede ser enviado mediante un camión a relleno sanitario. Su arranque empezó utilizando los productos químicos para los que fue diseñada, pero un tiempo después de su operación, según recomendaciones técnicas era mejor utilizar cal como medio secuestrante para formar los lodos de fluorita debido a que se iban a formar los lodos de igual forma y la cal era mucho más barata que el cloruro de calcio, manteniendo el uso de polímero.

La planta empezó a presentar problemas desde su operación con el filtro de bandas el cual es el encargado de secar el lodo mediante un prensado en el filtro el cual deja al lodo en condiciones óptimas para ser trasladado al relleno sanitario. El problema con este equipo radica en la dificultad que se presenta al mantenerlo operando, debido a que las bandas del filtro se dañan frecuentemente con mucha facilidad en este proceso y estas son en la actualidad difíciles de conseguir. Por otra parte, el uso de cal para la formación de los lodos, traía consigo otro inconveniente operacional, el cual consiste

en que los tiempos de reacción para la formación del lodo eran mayores que los tiempos de reacción utilizando cloruro de calcio.

En ese sentido, la GERENCIA TÉCNICA de la Refinería El Palito (2007) en su trabajo titulado “EVALUACIÓN DE LAS TELAS QUE PRESENTARON FALLA PREMATURA EN EL FILTRO M-7709 PLANTA DE TRATAMIENTO FOR-1, REFINERIA EL PALITORSC-PDVSA” con el objeto de analizar las causas que generan ruptura en las telas del filtro M-7709 de la planta FOR-1 y establecer las posibles soluciones a ejecutar,. A fin de lograr los tiempos de rupturas iguales o superiores a tres (03) meses, concluyeron que todas las fallas ocurridas en servicio, tuvieron su origen en el sobreesfuerzo de casi cinco veces respecto al diseño, que genera la excesiva deformación de las telas. Dicha deformación se produce por la desalineación progresiva y severa que acumulan las bandas filtrantes durante el servicio. Esta desalineación afecta primeramente al cierre, por ser el elemento más rígido y de menor resistencia mecánica del sistema. Es por ello que 4/5 de las fallas han ocurrido en los cierres, y el otro 1/5, relativamente cerca de éstos.

El filtro M-7709 tipo banda/presión, fue suministrado e instalado por la empresa ASHBROOK. Entró en servicio el 14 de abril del 2000 y en operación intermitente desde el mes de mayo/2000 hasta el mes de noviembre/2002. Se reactivó por el mes de junio/2003 hasta el día 20 Dic 2003, cuando sale fuera de servicio para determinar las causas del problema en cuestión. Desde el inicio de sus operaciones, el filtro ha presentado alta incidencia de fallas de las telas filtrantes y se le han realizado ciertas modificaciones que quedaron reflejadas en el Informe Técnico N° GCRT-IG-001-01. En los dos (02) últimos meses del año 2003 presentó nuevamente la alta incidencia de fallas. Adicionalmente, se tiene que el historial del uso de Hidróxido de Calcio (cal) y Cloruro de Calcio es el siguiente:

ABR 2000 - OCT 2000 = 6 meses	Solución de cal
NOV 2000 - NOV 2000 = 2 años	Cloruro de Calcio
JUN 2003 - DIC 2003 = 6 meses	Solución de cal

En el 2004, después de la puesta en funcionamiento de SNEA, la planta FOR-1 dejó de operar debido a los problemas ya mencionados y al costo de mantener funcionando la planta bajo esas condiciones. En el manual de operación de la planta SNEA, de la unidad de Alquilación de la Refinería el Palito, PDVSA, se describen tecnologías para el tratamiento del agua y de los lodos, entre estas tecnologías, se menciona la utilización de filtros rotativos, centrifugas, filtros prensa, filtros de placas, filtros de vacío, entre otros, para la reducción del exceso de líquidos de los lodos.

Cabrera (2011) en su trabajo titulado, “Propuestas de procesamiento de los lodos producidos en la sección de neutralización de efluentes ácidos de alquilación”, se muestra el resultado del estudio de varios polímeros floculantes, el tipo de bomba y las especificaciones que son requeridas para transportar los lodos de SNEA hacia FOR-1. Adicionalmente, la caracterización de los lodos en el caso de SNEA (mostrados en la Tabla N° 1) y la carga total de efluente neutralizado la cual es de 3203 lb/h.

A continuación se presenta una tabla en la cual se reflejan las características fisicoquímicas del lodo que se pretende tratar en este caso.

Tabla N° 1. Características de los lodos del SNEA.

Prueba	Valor
Densidad (g/cc)	0,97
Sólidos totales %p/p	11,85
Sólidos disueltos %p/p	8,8
Sólidos suspendidos %p/p	3,01
Gravedad especifica %p/p	0,97
Diámetro promedio aproximado μm	4,34
pH	6,7
Compuestos presentes	
Cloruro de sodio	<i>NaCl</i>
Fluoruro de calcio	<i>CaF₂</i>

Fuente: INTEVEP

Con esta información se evidencia que el principal problema que presentan los lodos producidos en SNEA es el alto contenido de humedad, el cual es aproximadamente del 88,15%, por lo tanto excede el porcentaje establecido para disponerlos de una manera segura. Por esta razón los lodos de fluoruro de calcio que se producen requieren un proceso de secado para cualquier uso posterior o disposición final. El procesamiento que se le debe dar al lodo tiene que bajar su contenido de agua de tal forma que el lodo cumpla con las normativas ambientales nacionales para la disposición final de lodos como rellenos sanitario, acorde con el Decreto 2635 (Normas para el Control de la Recuperación de residuos, específicamente Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos, (Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5245 del 3 de agosto de 1998).

Por otro lado, REPAMAR (1999), en un trabajo titulado, “Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento”, con el objetivo de establecer un esquema general para el manejo adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas, acorde con las políticas de protección de la salud de la población y del medio ambiente, la minimización de generación de residuos, el empleo de tecnologías limpias, revalorización y disposición final segura de lodos. Establecieron los lineamientos generales del manejo de lodos, orientados hacia una política de disminución en la generación, reutilización ó disposición adecuada de los mismos. Estos lineamientos serán tomados en cuenta durante la realización de este trabajo para el tratamiento de los lodos que se generan en el SNEA y el F.O.R.

La empresa avocada a la producción de productos químicos LIPESA (1998), editó un libro en el cual se explican todas las tecnologías comúnmente usadas en el tratamiento de aguas industriales, el cual lista, los conceptos básicos de los procesos y tecnologías que se estudiarán, para el diseño de la planta, éstos son:

Clarificación: es uno de los métodos más empleados de separación sólido-líquido. La eliminación de una gran proporción de impurezas, se lleva a cabo por sedimentación.

Coagulación: es la desestabilización producida por compresión de las dobles capas eléctricas que rodean las partículas coloidales.

Floculación: es la unión de las partículas ya coaguladas para formar partículas de mayor tamaño comúnmente llamadas flóculos.

Filtración: consiste en pasar el agua a través de un medio poroso para remover los sólidos suspendidos y coloidales y producir un efluente con una turbidez de hasta menos de 1NTU.

Secado de lodos: Proceso el cual consiste en disminuir el contenido de agua presente en los lodos, esto trae como beneficio disminuir el volumen del lodo, hacer los lodos más manejables y minimizar los costos de su manejo y disposición final.

1.3 OBJETIVOS

A continuación se muestran los objetivos a cubrir para lograr la realización del trabajo especial de grado:

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

Diagnosticar el modo funcionamiento de planta de Fuel Oil Residual (FOR-1), a fin de proponer las modificaciones que permitan procesar los lodos del F.O.R y del Sistema de Neutralización de Efluentes Ácidos (SNEA) de la Refinería El Palito.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Diagnosticar el modo de funcionamiento de la planta FOR-1.
- ❖ Identificar modificaciones y mejoras requeridas en la planta FOR-1 para hacer factible el procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R, de la Planta de Alquilación.
- ❖ Rediseñar los principales equipos y variables de proceso de la planta FOR-1 para adecuarlos al procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R.

-
- ❖ Determinar el polímero floculante de mayor eficiencia y establecer su dosificación recomendada para el tratamiento de los lodos del SNEA y del FOR.

 - ❖ Determinar la factibilidad técnica y el impacto ambiental asociado a las modificaciones y mejoras que involucre el rediseño de la planta FOR-1.

 - ❖ Realizar un análisis preliminar de los potenciales y principales riesgos ocupacionales asociados al procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R, en la planta rediseñada FOR-1.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MARCO TEÓRICO

La finalidad de la unidad de tratamiento FOR-1, es eliminar el flúor remanente en el agua de desecho almacenada en el reservorio FOR. Para ello se hace reaccionar las aguas conteniendo el ion fluoruro con cloruro de calcio según la siguiente reacción $CaCl_{2(ac)} + 2F^{-(ac)} \Rightarrow 2Cl^{-(ac)} + CaF_{2(s)} \downarrow$. La reacción produce fluoruro de calcio como precipitado, el cual se desecha en forma sólida, luego de ser filtrado en la unidad M-7709. Antes de pasar al filtro M-7709, el lodo debe ser tratado con un polielectrolito (polímero aniónico) que produce aglomeración o floculación de las partículas.

El proceso de pretratamiento de las aguas residuales de Fuel Oil (F.O.R), consta de varios sistemas que son indicados a continuación:

- Sistema de carga y tratamiento
- Manejo de lodos
- Manejo de $Ca(Cl)_2$

2.1.1 SISTEMA DE CARGA Y TRATAMIENTO

En esta fase se transfieren las aguas del F.O.R al tanque F-7701, con la finalidad de separar los hidrocarburos y sólidos no deseables en el proceso (rebose de aguas aceitosas y recolección para su retorno al F.O.R) De este tanque, el agua es enviada al sistema de tratamiento propiamente dicho, compuesto por dos reactores por carga, M-7703 A/B, un circuito para dosificar cloruro de calcio $CaCl_2$, como agente precipitante y sistemas auxiliares de dosificación de químicos tales como: sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como agente coagulante (actualmente fuera de servicio), un polímero floculante y cloruro de calcio para ajuste fino del residual de fluoruro (actualmente fuera de servicio) El circuito de cloruro de calcio se usa para la

reacción de precipitación de los iones fluoruros como CaF_2 , el sulfato de aluminio se considera como agente neutralizador de carga del precipitado, a objeto de mejorar la eficiencia de la floculación y el polímero se usa como agente floculante, para acelerar el proceso de decantación de los lodos formados en los reactores. El agua tratada es enviada por gravedad hasta la red de aguas aceitosas de la Refinería El Palito.

En el proceso de Alquilación grado gasolina de UOP contempla la reacción vía ión carbonilo entre el isobutano y el $C_4^=$ para obtener iso-octano, utilizando ácido fluorhídrico como catalizador. El ácido fluorhídrico es altamente peligroso para la salud y el medio ambiente, razón por la cual es imperiosa la necesidad de tratar los efluentes ácidos originados en la unidad de Alquilación antes de ser enviados al sistema de tratamiento global de tratamiento de la refinería.

El sistema de tratamiento prevé neutralizar los efluentes ácidos de la unidad, los cuales pueden clasificarse en tres grandes grupos:

1. Mezcla polímero+CBM (azeótropo formado entre el HF-H₂O) proveniente del regenerador de ácido D-6809.
2. Cabezal de alivio ácido al cual están conectados la mayoría de los equipos de la unidad.
3. Drenajes ácidos relacionados a todos los desagües de los equipos de la unidad. La neutralización es realizada en diferentes equipos de acuerdo al origen del efluente.

2.1.1.1 NEUTRALIZACIÓN DE HF:

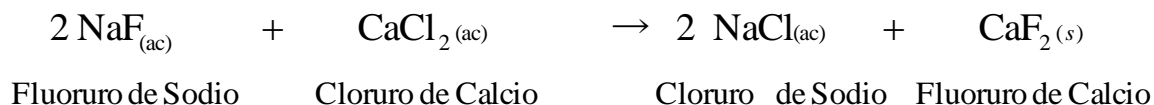
Las reacciones de neutralización que se suscitan durante el tratamiento del CBM - polímero y de los alivios ácidos es la siguiente:



2.1.1.2 PRECIPITACIÓN DE FLUORUROS:

La reacción de precipitación de fluoruros es llevada a cabo en las tanquillas D-6837

A/B es la siguiente:



2.1.2 MANEJO DE LODOS

El lodo producido por la sedimentación del precipitado en la etapa anterior, es enviado por bombeo hasta un tanque para su homogeneización, y de allí a un sistema de deshidratación paquetizado, consistente en un filtro de bandas con sus equipos asociados (sistema de lavado y espesador de lodos). La torta obtenida se descarga a un recipiente para su disposición final por parte de PDVSA. El agua extraída de este filtro también puede ser reutilizada dentro del proceso enviándola al tanque F-7704, o bien se envía al tanque F-7706 para ser utilizada como agua de reposición para el lavado de las bandas del Filtro Banda, en conjunto con agua de servicio.

2.1.2.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE BANDAS

El filtro M-7709 es tipo correa-prensa. Las correas porosas (telas filtrantes) permiten el filtrado por gravedad y por presión. En la etapa de filtrado por gravedad, se filtra casi toda el agua del lodo. Al finalizar esta etapa comienza la etapa de filtrado por presión. Allí se forma la torta incipiente, que luego es sometida a fuerzas de corte entre las correas superior e inferior. Las variables del proceso (velocidad de la correa, cantidad de polielectrolito, espesor de la torta, etc.), se ajustan hasta que la torta de desecho, alcance grado de humedad requerido. En la descarga existen navajas raspadoras de PEAD (polietileno de alta densidad), encargadas de separar cualquier resto de torta, de las correas filtrantes. Posteriormente las correas pasan a cajas de lavado independientes. El lavado debe realizarse en forma continua, para evitar el

taponamiento y pérdida de las telas filtrantes. Por su parte, el líquido filtrado se retorna al sistema.

El filtro recibe el lodo del tanque M-7703 y su régimen de operación de diseño es de 16h/día, 5 días/semana. Los parámetros operacionales según diseño se muestran en la tabla N° 2. El filtro opera con 8 rodillos, uno solo de los cuales transmite una tensión a las telas, de 80 libras por pulgada lineal (PLI) de ancho de la banda. El filtro ha operado también usando solamente 5 rodillos.

Tabla N° 2. Parámetros de diseño del filtro M-7709

Parámetro	Valores de diseño	Parámetro	Valores de diseño
Material de alimentación al filtro	Fluoruro de Calcio	Material descarga del filtro, lb/h	3609
Flujo de diseño, m ³ /día	87.27	Material	Lodo deshidratado
Gravedad específica	1.067	Contenido de sólidos secos, %	35 mínimo / 50 normal / 85 óptimo
Temperatura, °F	80 - 100	Gravedad específica	1.29
Contenido de humedad, %	90	Temperatura, °F	80
pH	11 - 13		

Fuente: El fabricante ASHBROOK

Es necesario resaltar que el lodo antes de entrar en el sistema de deshidratación paquetizado (filtro de bandas) debe llevarse hasta una humedad comprendida entre (60 y 75) % en peso. Y es por ello, que el lodo se somete a un proceso de floculación y coagulación con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua posible del lodo.

2.1.2.2 TRATAMIENTO DE LODOS

La deshidratación del lodo no es más que un proceso de purificación de agua, el cual involucra el retiro de la materia coloidal. Sin embargo, también es aplicable al tratamiento de las aguas residuales con relación a:

-
- 1) la remoción de partículas suspendidas y coloidales seguida de sedimentación y
 - 2) el tratamiento de aguas residuales industriales que ofrecen pobre o nula respuesta a los procesos biológicos.

Para lograr la remoción de las partículas coloidales es necesario desestabilizar el medio acuoso mediante la adición de coagulantes: productos químicos con carga eléctrica contraria (coagulación) y propiciar el mezclado controlado para lograr aglutinar partículas coloidales (floculación), para que finalmente dichas partículas aglutinadas (flóculos), se encuentren bajo el efecto de la gravedad (sedimentación).

En condiciones naturales, la presencia de las partículas coloidales causa turbidez, color, olor, sabor y sólidos. Esto es propiciado por la presencia de las partículas coloidales de composición inorgánica mayoritariamente arcillas, también se puede encontrar coloides orgánicos resultados de residuos de plantas y de animales. Con la finalidad de obtener la adecuada calidad del agua para potabilización y para los procesos industriales es necesario realizar los suficientes estudios de tratabilidad que pueden realizarse mediante la llamada "Prueba de Jarras" con el fin de determinar cuál es el mejor floculante y su dosificación adecuada para el proceso.

2.1.2.3 ENSAYOS DE JARRAS

Los ensayos de jarras son pruebas a escala de laboratorio, que sirven para la selección de polímeros o coagulantes necesarios en distintos procesos de clarificación, deshidratación o floculación. El procedimiento general de los ensayos de jarra que se llevará a cabo en este caso es el descrito por: (Terán, 2003), el cual se muestra en la sección de apéndices.

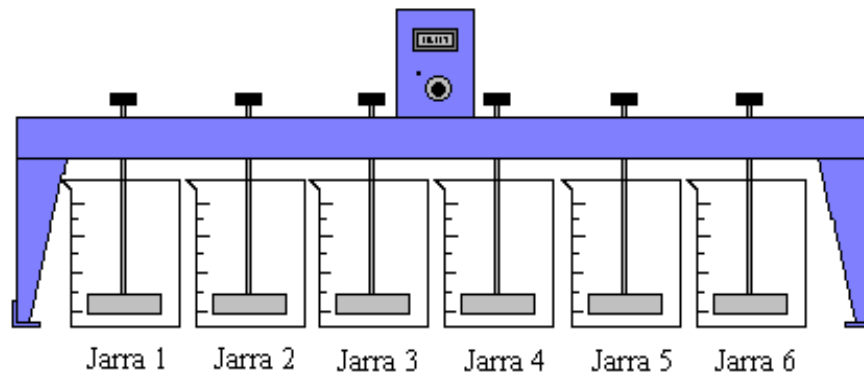


Figura N° 1. Diagrama del equipo de los ensayos de jarras

Con la realización de los ensayos de jarra se determina, mediante apreciaciones cualitativas y cuantitativas, la cantidad de sólidos sedimentables (altura de sólidos) y altura de líquido, además de la turbidez del agua, tamaño del flóculo y velocidad de sedimentación, factores que permiten estimar las condiciones del proceso. Algunas de estas determinaciones se describen a continuación:

- **Tamaño del Flóculo:** Consiste en una apreciación cualitativa, mediante la cual se determina y evalúa el flóculo formado según sus características. Al ser una determinación cualitativa depende de la apreciación del operador, sin embargo existen índices que se ajustan según el perfil observado para uniformar criterios así como el índice de floculación de Wilcomb, que es por el que se va a regir esta determinación y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 3. Índice de floculación de Wilcomb. (Arboleda, 2000)

Índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido. (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil y completamente
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina

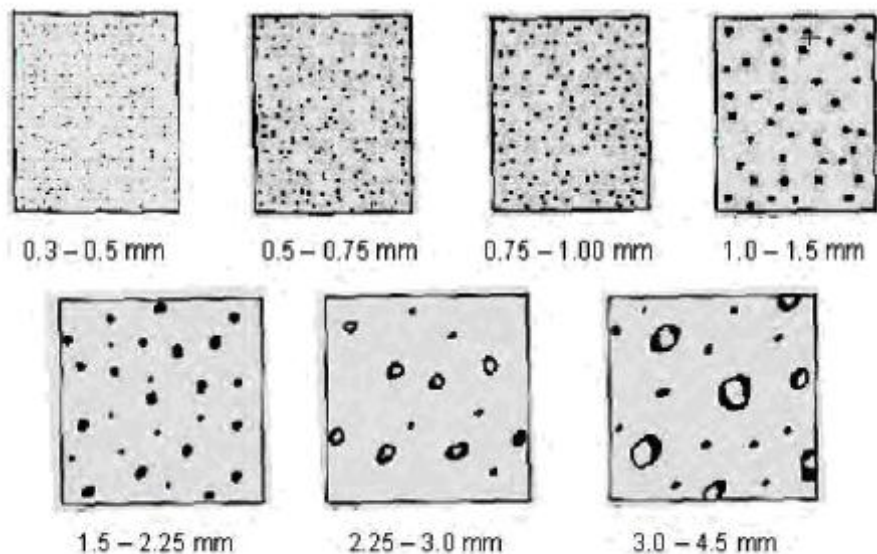


Figura N° 2. Comparador para estimar el tamaño del floculo producido en la coagulación-floculación. (Arboleda, 2000)

- **Turbidez:** Para realizar las determinaciones físico- químicas se deben extraer muestras del sobrenadante después de un período no inferior a 10 minutos. Con ayuda de un turbidímetro se mide la turbidez del agua y así se realiza una evaluación exacta de la remoción de partículas que se obtienen durante la sedimentación, la cual, puede considerarse función directa de la eficiencia de la aglutinación.
- **Velocidad de sedimentación:** El objetivo es comparar los resultados obtenidos en dos o más jarras, durante la prueba de floculación, evaluando la diferencia de velocidad que tienen las partículas producidas en la sedimentación.

2.1.3 MANEJO $CaCl_2$

La planta también consta de un sistema para el recibo, descarga y dosificación de cloruro de calcio, el cual es utilizado para reaccionar los fluoruros y precipitarlos como fluoruro de calcio CaF_2 . Este sistema está compuesto por dos tanques principales de almacenamiento, una bomba de transferencia, una bomba de

dosificación a los reactores y una unidad paquete para dosificar pequeñas dosis de cloruro de calcio, en caso que presenten desviaciones en cuanto al residual final de fluoruro, en alguna de las cargas procesadas.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA

A continuación se presentan las estrategias metodológicas que permitirán cumplir con los objetivos específicos establecidos dentro del caso de estudio. Este plan está conformado por estrategias, métodos y procedimientos, que se encuentran orientados hacia la obtención de la información necesaria a fin de buscar la solución al problema tratado. En tal sentido Balestrini (2006) menciona “El Marco Metodológico, es la instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros, técnicas, y protocolos con los cuales una Teoría y su Método calculan las magnitudes de lo real” (p.126).

3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Acorde al marco de investigación planteado, cuyo enfoque está orientado a desarrollar las estrategias que permitan identificar y evaluar mejoras y modificaciones en el diseño y en la operación de planta FOR-1 a fin de permitirle procesar los lodos del SNEA y del F.O.R. De igual forma, atendiendo a los objetivos planteados, la investigación se orienta hacia lo que se define como proyecto factible. Tal como lo refiere el Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales, de la Universidad Experimental Libertador (UPEL, 2006).

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dado que el caso de estudio se trata de una investigación de modalidad proyecto factible, el cual está basado en rediseñar la planta F.O.R-1, a fin de que pueda procesar los lodos del reservorio F.O.R y del SNEA. Por lo cual se requiere de una investigación que permita analizar el problema e identificar todas las estrategias que lleven a establecer las mejoras que se deben hacer en la planta FOR-1, para que pueda procesar los lodos. Teniendo en cuenta lo antes expresado, la presente investigación

es de tipo, Investigación de Campo de carácter Evaluativo. El tipo de investigación se pudo definir teniendo en cuenta lo que dice el Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales, de la Universidad Experimental Libertador (UPEL, 2006):

3.4 PROCEDIMIENTO

Orientados según la modalidad y tipo de investigación desarrollado en este caso, a continuación se presentan las fases que permitieron cumplir cada uno de los objetivos planteados en este trabajo.

Para el cumplimiento del primer objetivo, *Diagnostico del funcionamiento actual de la planta FOR-1*. Se realizó una investigación documental de carácter evaluativo y un estudio de criticidad en la planta FOR-1. Esto se hizo mediante la aplicación de herramientas de búsqueda y análisis de información con el fin de cumplir con este objetivo. La búsqueda de la información se llevó a cabo según los lineamientos científicos, a través de las siguientes etapas:

- **Recolección de la información:** para esta etapa se aplicaron instrumentos específicos de acuerdo con el tipo de fuente de información.
- ✓ **Información primaria:** en este caso los instrumentos usados son los siguientes; observaciones estructuradas y no estructuradas, entrevistas estructuradas y no estructuradas. La información que se obtuvo a través de estos instrumentos permitió visualizar la realidad de la planta FOR-1, es decir, dio conocer el funcionamiento y operación de todos los equipos de la planta y la identificar todos los problemas existentes en la planta y sus causas.
- **Observaciones:** En este caso se hicieron observaciones no estructuradas y estructuradas y estuvieron orientadas de acuerdo a lo planteado por Villafranca (1996).

- **Observaciones no estructuradas:** se aplicaron durante los primeros días de trabajo con el fin de lograr:

- ✓ Familiarizarse con el funcionamiento y operación de las plantas.
- ✓ Conocer de forma visual los distintos equipos que se encuentran en las plantas.
- ✓ Introducir las pautas que permitan detallar la estructura de los siguientes instrumentos que se aplicaron para obtener toda la información requerida.
- ✓ Establecer relaciones con el personal de trabajo de las plantas.

Este tipo de observaciones fueron realizadas a través de visitas a las plantas en compañía de los operadores, técnicos y tutores industriales.

- **Observaciones estructuradas:** este tipo de observaciones se realizaron con el fin de detallar los datos necesarios, es decir, permitió especificar:

- ✓ Todos los equipos de la planta.
- ✓ Identificar cuales funcionan correctamente y cuáles no.
- ✓ Condiciones de operación, peso y dimensión de los principales equipos.
- ✓ Lista de equipos como válvulas, tuberías, instrumentos y tanques.

Luego de esto, se identificaron cuales datos pueden cuantificarse y como, y cuales permitieron describir de forma sistemática el problema. Estas observaciones se hicieron por medio de visitas a planta con los operadores, técnicos y tutores, pero a diferencia de las no estructuradas, en este caso hubo más atención en ciertos puntos específicos y se realizaron según una guía de observación (una ficha que permitió el registro de las variables involucradas en la evaluación de la planta).

Entrevistas: Basado en el planteamiento de Sabino (1992), en este estudio se llevarán a cabo entrevistas, del mismo modo que en las observaciones, estas fueron tanto estructuradas como no estructuradas.

- **Entrevistas no estructuradas:** las entrevistas no estructuradas se llevaron a cabo con el fin de:

- ✓ Buscar información más profunda en relación al problema planteado.
- ✓ Descubrir en detalle los problemas menores en las plantas y orientar el planteamiento de las preguntas planteadas en la entrevista estructurada.

En este caso se ejecutaron entrevistas formales, que permitieron obtener un panorama de los problemas más sobresalientes y entrevistas focalizadas, con el fin de profundizar sobre los problemas más destacados. Estas entrevistas se realizaron de forma libre a los operadores, técnicos, jefes de plantas y personas especialistas en las áreas relacionadas con el tema.

- **Entrevistas estructuradas:** estas entrevistas se usaron con el objetivo de:

- ✓ Obtener información relacionada con los problemas más sobresalientes de la planta FOR-1 fácil de administrar y evaluar.
- ✓ Conseguir información más objetiva y confiable y profundizar información sobre las observaciones ya realizadas.

Estas entrevistas se realizaron a los operadores, técnicos, jefes de plantas y personas especialistas en las áreas relacionadas con el tema.

Es importante resaltar lo siguiente, debido a que, la información obtenida a través de las observaciones y entrevistas no estructuradas resultó: muy amplia, subjetiva, extraña y que su análisis e interpretación amerita de mucho tiempo, no fue tabulada sistemáticamente ni se le realizaron análisis estadísticos. Esta información solo se usó como guía para orientar la creación y aplicación de los instrumentos estructurados.

Por otra parte, a causa del modo logístico bajo el cual desempeñan sus labores los distintos trabajadores de las plantas involucradas con el problema planteado, se estableció que la muestra a la cual se le aplicaron las entrevistas planificadas fue

aleatoria estratificada y la población resultó todo el personal disponible (operadores, técnicos y jefes de plantas) que se encuentre en el turno durante el cual se aplique la entrevista, es decir muestreo estratificado al azar.

- **Estudio de criticidad de la planta FOR-1:** este estudio de criticidad se consideró una herramienta de gran importancia para esta etapa del proyecto, ya que permitió establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilitó la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde fue más importante y/o necesario mejorar las condiciones de operación y los equipos, basado en hacer que la planta FOR-1 pueda procesar los lodos de SNEA y del F.O.R Todo lo anterior se sustenta según lo planteado por Amendola (2006).

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas o sistemas, equipos y/o componentes que requieren ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos.

- Mantenimiento.
- Inspección.
- Materiales.
- Disponibilidad de planta.
- Personal.

A este estudio de criticidad se le hizo una adaptación dado que el instrumento como tal según su filosofía no aportaba toda la información necesaria en este trabajo, la adaptación consistió en modificar las variables que normalmente mide este estudio a fin de obtener como resultado la información que se desea en este caso.

La aplicación de este instrumento consistió en la elaboración del instrumento, el cual se hizo de forma conjunta con las observaciones y entrevista a fin de que el

instrumento resultara lo más completo posible y luego mediante visitas a plantas, entrevistas y revisión de documentos se llenó la información en el instrumento.

Las variables medidas por el instrumento fueron:

Equipo/ TAG: consiste en la identificación del equipo en la planta.

Función: esta variable representa una descripción de la función que desempeña el equipo en la planta.

N° equipos en planta: cantidad de equipos presentes actualmente en la planta.

Estado: se refiere a la condición actual del equipo.

Observación: alguna información importante a destacar del equipo.

Parámetro operacional: se refiere a los valores de las principales variables que describen al equipo.

Jerarquía: tiene que ver con la importancia que tiene el equipo en la planta, la jerarquía se estableció en una escala del 1 al 3.

En relación a jerarquía de los equipos, se utilizó una numeración del 1 al 3, para establecer un parámetro de jerarquización de los equipos en la planta, directamente vinculado con el impacto que posee el equipo sobre la operatividad de la misma, los equipos con jerarquía 1 son los equipos con mayor criticidad, los cuales si en algún momento llegaran a faltar o a fallar, la planta no podría operar y tendría que pararse. Por otra parte, los equipos con jerarquía 2 son aquellos con los cuales, la planta podría operar con la ausencia de ellos, pero con ciertas restricciones, como por ejemplo, disminución de la capacidad de procesamiento y disminución de su confiabilidad. Por último, los equipos con jerarquía 3 son aquellos con los cuales la planta podría operar sin que los mismos estén funcionando, con la excepción de algunas restricciones operacionales menores.

✓ **La información secundaria:** en este caso los instrumentos que se usaron son los siguientes; revisiones documentales de libros, revistas, normas aplicables, revisión de manuales de operación de las plantas, revisión de historiales de reportes diarios de operación.

Revisiones documentales: Tomando en cuenta estas consideraciones planteadas por Pérez (2009), a continuación se presentan todas las acciones que se llevaron a cabo para realizar las revisiones documentales.

- **Revisión de libros, revistas y tesis:** en este caso se revisó todo el material bibliográfico impreso y digital relacionado con el problema planteado. Las revisiones documentales se realizaron de forma continua durante todo el periodo de realización del TEG hasta que se logró alcanzar el cumplimiento de todos los objetivos propuestos.

- **Revisión de las normas aplicables:** en esta etapa se hizo una revisión de todas las normas relacionadas con el diseño y funcionamiento de las plantas involucradas, así como también las restricciones ambientales impuestas para la disposición de los lodos tratados en un relleno sanitario y condiciones de seguridad bajo las cuales debe ser operada la planta.

- **Revisión de reportes diarios y manuales de operación:** esta etapa se basó en la búsqueda y análisis de toda la información relacionada con el funcionamiento y operación de la planta FOR-1. Los reportes diarios fueron localizados en la sala de control de la sección de tratamientos y alquilación y los manuales de operación se encontraron en la planoteca de la refinería El Palito.

- **Revisión de manuales de operación de las plantas:** en este caso, el procedimiento consistió en consultar en la planoteca de la refinería El Palito, los manuales de operación de las plantas: FOR-1, SNEA, Alquilación y Tratamientos.

- **Revisión de documentos de diseño de la planta FOR-1:** esta etapa se orientó en la revisión documental, consistió en un estudio detallado de los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) y Diagramas de Tubería en Instrumentación (DTI).

• **Tabulación de la información:** esta etapa se basó en la clasificación sistemática información, en este caso la información directa tabulada fue la obtenida por las observaciones y entrevistas estructuradas. El resultado de las observaciones y entrevista fue lo que condujo a la elaboración del modelo adaptado del estudio de criticidad y también la obtención de la información requerida en el estudio de criticidad.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, *Identificación de las modificaciones y mejoras requeridas en la planta FOR-1 para hacer factible el procesamiento de los lodos del SNEA y del FOR.* Luego de realizar la evaluación de la planta FOR-1, se estableció de forma específica: qué equipos tiene la planta, cómo funcionan, cuáles funcionan y cuáles no, condiciones de operación así como también se identificaron todos los problemas existentes en la planta y sus causas. Con todo esto, en esta etapa se aplicaron todos los criterios de ingeniería acompañados del sentido común, con el fin de establecer a manera de ingeniería conceptual los principales cambios que se plantean en este trabajo para la planta FOR-1 para que pueda procesar los lodos del F.O.R y del SNEA.

Mediante un análisis sistemático de la evaluación ya realizada, se decidió, mediante la aplicación de los conocimientos ingeniería y el sentido común, el proceso más eficiente que permite el tratamiento adecuado de los lodos. Una vez establecido el proceso, esta etapa se culminó con una comparación entre los equipos que involucra el nuevo proceso y los que dispone la planta FOR-1, a partir de aquí, se establecieron las modificaciones y mejoras que se deben implementar en la planta FOR-1 para que pueda procesar los lodos.

Para el cumplimiento del tercer objetivo, *Rediseño de los principales equipos y variables de proceso de la planta FOR-1 para adecuarlos al procesamiento de los*

lodos del SNEA y del F.O.R. Luego de la evaluación de la planta FOR-1 y comparación del modo de operación la planta con el diseño operacional mediante el cual la planta FOR-1 procesa los lodos, se procedió a la realización de una revisión detallada de la ingeniería conceptual establecida. Se efectuaron los cálculos y análisis necesarios que permitieron establecer: las especificaciones técnicas de equipos y materiales, especificaciones funcionales y dimensionamiento de conductos, tuberías, listado de equipos, instrumentación, accesorios y materiales, planos de detalle de las instalaciones: DFP y DTI, a fin de que la planta FOR-1 pueda procesar adecuadamente los lodos. El detalle de los cálculos se puede visualizar en la sección de apéndices.

Todos los cálculos para el diseño de equipos y la elaboración de los DTI y DFP se hicieron según la orientación de los códigos y normas PDVSA establecidos.

Para el cumplimiento del cuarto objetivo, *Determinación del polímero floculante de mayor eficiencia y establecer su dosificación recomendada para el tratamiento de los lodos del SNEA y del FOR.* Debido a que en la refinería se tenían siete polímeros como floculantes para los lodos, se decidió realizar ensayos de jarras para establecer la dosificación adecuada de cada polímero y determinar cuál de ellos es el de mejor desempeño para el tratamiento de los lodos. Las pruebas de jarras se llevaron a cabo tal como lo recomienda Terán. El procedimiento a seguir es el que se describe en la sección de apéndices.

Para el cumplimiento del quinto objetivo, *Determinación de la factibilidad técnica y el impacto ambiental asociado a las modificaciones y mejoras que involucre el rediseño de la planta FOR-1.* El análisis de factibilidad técnica se realizó a partir del estudio efectuado en los equipos de la planta FOR-1 y la comparación realizada entre los equipos que involucra el proceso de tratamiento de los lodos y los que dispone la planta FOR-1 actualmente. Después de esto, se establecieron cuáles equipos se deben comprar y se hizo un estudio en los equipos actuales de la planta FOR-1 que pueden ser usados directamente o adaptados a la nueva planta FOR-1 rediseñada.

La determinación del impacto ambiental se basó en un estudio fisicoquímico que permitió conocer los componentes químicos presentes en los lodos del reservorio F.O.R y del SNEA.

Una vez conocidas las características fisicoquímicas del lodo tratado que se enviará al relleno sanitario y se evaluarán los posibles efectos que generarán estos lodos en el relleno que serán depositados. Para medir los efectos del lodo en el relleno sanitario se consideraron las siguientes variables:

- ✓ Signo del efecto que produce el lodo en el relleno sanitario.
- ✓ Intensidad del daño que produce el lodo en el relleno sanitario.
- ✓ Extensión del daño ocasionado.
- ✓ Momento en el cual será depositado el lodo.
- ✓ Persistencia de los daños que genera el lodo en el relleno sanitario.
- ✓ Recuperación del relleno sanitario de los daños que ocasionará el lodo.
- ✓ Suma de efectos
- ✓ Periodicidad con la cual se produce el daño en el relleno sanitario

Para el cumplimiento del sexto objetivo, *Análisis preliminar de los potenciales y principales riesgos ocupacionales asociados al procesamiento de los lodos del SNEA y del FOR*. En esta etapa, en primer lugar se procedió con la identificación de cada una de las secciones de la planta donde el operador debe realizar sus labores. Para esto también se hizo una revisión y análisis de los historiales de accidentalidad relacionados con la realización de este tipo de trabajo. Esta revisión se desarrolló con el fin de encontrar datos que aportaron elementos de juicio que ayudaron a la detección de los riesgos ocupacionales existentes en la nueva planta FOR-1. Las etapas contempladas para llevar a cabo el análisis preliminar de los principales riesgos ocupacionales asociados al procesamiento de los lodos del SNEA y del reservorio F.O.R, son las siguientes:

- **Estudio y análisis de las etapas del proceso de tratamiento de los lodos:** en esta parte se observaron y describieron cada una de las etapas del proceso de

tratamiento de los lodos, siguiendo el orden secuencial en que este proceso se desarrolla. Esto se hizo con el objeto de precisar cuáles son los insumos y equipos utilizados, la descripción de cada una de las etapas del proceso productivo y el producto final obtenido.

- **Identificación y valoración de factores de riesgo:** a través de la visita y la observación sistemática, se identificaron cada uno de los factores de riesgo ocupacionales presentes la nueva planta FOR-1. En esta etapa fue necesario entrevistar a los operadores y técnicos de la planta, quienes aportaron información valiosa sobre los agentes a los cuales están expuestos. Estas actividades se realizaron a través de formatos de identificación y valoración de factores de riesgos.

- **Análisis y priorización de la información:** una vez recolectada toda la información anterior, se valoraron y priorizaron cuáles son los factores de riesgo ocupacionales más salientes. Igualmente, se hicieron las recomendaciones para eliminación o minimización de estos riesgos. Esta fase se planificó y se llevó a cabo teniendo en cuenta todas las recomendaciones establecidas por PEMEX, 2008.

El formato del cuestionario aplicado para la identificación y valoración de los factores de riesgo se puede visualizar en la sección de apéndices.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan todos los resultados alcanzados luego de la realización de este trabajo especial de grado. Los resultados se van presentando de manera secuencial y en correspondencia con lo establecido en los objetivos específicos.

En primer lugar se muestran los resultados relacionados con el diagnóstico realizado en la planta FOR-1.

4.1 Diagnóstico del modo de funcionamiento de la planta FOR-1.

Los resultados para este caso se presentan en forma de tablas, las cuales muestran la información más destacada de todos los equipos presentes en la planta. Es necesario mencionar que para este caso las tablas representan un resumen global de todas las observaciones, entrevistas y el estudio de criticidad realizado.

A continuación se enseña una tabla en la cual se muestran todos los equipos presentes en la planta FOR-1, se reflejan las características más importantes de cada equipo así como también se establecen observaciones importantes en cada caso.

Algo importante a destacar de la tabla es que, en la columna Estado, asociada a la situación en la cual se encuentra el equipo, F/S significa que el equipo se encuentra fuera de servicio porque presenta alguna falla. En cuanto a las observaciones, cuando no se hacen comentarios es porque el equipo puede funcionar normalmente y no tiene problemas o sencillamente el equipo ya no existe en la planta “NO ESTÁ”. En relación al parámetro operacional, la abreviación “OP”: significa el valor de la variable en condiciones operación, mientras que “MAX”: es el máximo valor que puede alcanzar el parámetro operacional sin presentar problemas

Tabla N° 4. Características de los equipos de la planta FOR-1.

Equipo/TAG	Función	N° de equipos en planta	Estado	Observación	Parámetro operacional	Jerarquía
G-718	Bomba Alimentación	1	F/S		540 GPM	1
F-7701	Tanque receptor del reservorio	1	DISPONIBLE		OP: 3394 ft ³ MAX: 3812 ft ³	1
G-7703	Bomba de agua aceitosa	1	DISPONIBLE		300 GPM, 8,92 HP, 1765 RPM, CENTRIFUGA HORIZONTAL	1
G-7701	Bomba de alimentación a los reactores M-7703 A/B	1	DISPONIBLE		180 GPM, 3,12 HP, 1740 RPM, CENTRIFUGA HORIZONTAL	1
M-7701	Fosa de aguas aceitosas	1	DISPONIBLE		1470 ft ³	1
G-7710	Compresor		NO ESTÁ			2
F-7705	Tanque pulmón	1	DISPONIBLE			2
M-7710	Filtro de aspiración		NO ESTÁ			3
B-7701	Secador de aire	1	F/S	NO FUNCIONA		3
M-7708A	Silo/Filtro separador de Cal	1	DISPONIBLE		OP: 755 ft ³ MAX: 816 ft ³	1
M-7708B	Válvula de Compuerta Deslizante	1	F/S	NO FUNCIONA		1
M-7708C	Tornillo sin fin	1	F/S	NO FUNCIONA		1
M-7702	Agitador de tanque F-7702	1	DISPONIBLE		IMPULSOR: 2,89ft, 3 HP	2

Continuación Tabla N° 4.

Equipo/TAG	Función	N° de equipos en planta	Estado	Observación	Parámetro operacional	Jerarquía
F-7702	Tanque de almacenamiento de solución cal	1	DISPONIBLE		OP: 1026 ft ³ MAX: 1129 ft ³	1
G-7702	Bomba de circulación de solución cal.	1	DISPONIBLE		130 GPM, 5,73 HP, CENTRIFUGA HORIZONTAL	1
M-7706A	Tanque de solución de alumbre	1	DISPONIBLE		OP: 12,007 ft ³ MAX: 13,4 ft ³	3
M-7706B	Agitador de tanque M-7706 ^a	1	DISPONIBLE	NO FUNCIONA	IMPULSOR: 1,08ft, 1 HP	3
M-7706C	Bomba dosificadora de alumbre		F/S		0,50 GPM, 2,5*10 ⁻³ HP BOMBA RECIPROCANTE	3
M-7706D	Tanque de solución de polímero	1	DISPONIBLE		OP: 12 ft ³ MAX: 27 ft ³	2
M-7706E	Agitador del tanque M-7706D		NO TIENE		IMPULSOR: 0,59 ft, 1 HP	2
M-7706F	Bomba dosificadora de polímero	1	DISPONIBLE		0,026 GPM, 8.10 ⁻⁵ HP, 1750 RPM, BOMBA RECIPROCANTE	2
M-7706G	Tanque de solución de CaCl ₂	1	DISPONIBLE		OP: 3 ft ³ MAX: 134 ft ³	1
M-7706H	Agitador del tanque M-7706G	1	DISPONIBLE	NO FUNCIONA	IMPULSOR: 1,18 ft, 1 HP	1
M-7706I	Bomba dosificadora de CaCl ₂		F/S		1,01 GPM, 5,4*10 ⁻³ HP, 1725 RPM, BOMBA RECIPROCANTE	1
M-7703A	Reactor	1	DISPONIBLE		2119 ft ³	2

Continuación Tabla N° 4.

Equipo/TAG	Función	N° de equipos en planta	Estado	Observación	Parámetro operacional	Jerarquía
M-7703B	Reactor	1	DISPONIBLE		2119 ft ³	2
M-7703C	Agitador del reactor M-7703 ^a	1	DISPONIBLE		IMPULSOR: 4,4 ft, 5 HP	2
M-7703D	Agitador del reactor M-7703B	1	DISPONIBLE		IMPULSOR: 4,4 ft, 5 HP	2
M-7703E	Tornillos sin fin del reactor M-7703 ^a	1	F/S	NO TIENE EL MOTOR	144,3 GPM	2
M-7703F	Tornillos sin fin del reactor M-7703B	1	F/S	MOTOR ATASCADO	144,3 GPM	2
G-7704	Bomba de lodos	2	DISPONIBLE	(A) ENVASE DE ACEITE ROTO	150 GPM, 4,04 HP, DESPLAZAMIENTO POSITIVO HORIZONTAL	2
G-7706	Bomba de agua tratada	1	F/S		138 GPM, 0,69 HP, 180 RPM, BOMBA CENTRIFIGA HORIZONTAL	1
F-7704	Tanque de agua tratada	1	DISPONIBLE		OP: 470 ft ³ MAX: 516 ft ³	2
M-7704	Agitador tanque de lodos	1	DISPONIBLE		IMPULSOR: 5,58 ft, 3 HP	2
F-7703	Tanque de lodos	1	DISPONIBLE		OP: 1543 ft ³ , MAX: 16456 ft ³	1
G-7705	Bomba de transferencia de lodos	1	DISPONIBLE		30 GPM, 0,16 HP, 1682 RPM, BOMBA NEUMATICA DE DIAGRAMA	1

Continuación Tabla N° 4.

Equipo/TAG	Función	N° de equipos en planta	Estado	Observación	Parámetro operacional	Jerarquía
M-7709A	Tanque para químico espesador	1	DISPONIBLE		OP: 25 ft ³ MAX: 35 ft ³	2
M-7709B	Mezclador estático del tanque M-7709A	1	F/S			3
M-7709C	Bomba de dosificación del químico espesador	1	DISPONIBLE		0,01 GPM, 0,09 HP, BOMBA DOSIFICADORA RECIPROCANTE	2
M-7709D	Motor de acondicionamiento de bandas	1	DISPONIBLE			1
M-7709E	Sistema hidráulico de bandas	1	DISPONIBLE			1
M-7709F	Bombas de agua de lavado del filtro	2	DISPONIBLE	(F2) ENVASE DE ACEITE ROTO	14 GPM, 0,56 HP, 3500 RPM, BOMBA CENTRIGUFA HORIZONTAL	2
M-7709G	Filtro deshidratador de lodos	1	DISPONIBLE	PROBLEMAS CON LAS BANDAS	26,4 GPM, ANCHO DE BANDA: 5 ft.	1
M-7709H	Cinta transportadora		NO EXISTE		5706 GPM	3
D-7701	Separador de aire-agua	1	DISPONIBLE		2,2 ft ³	3
F-7706	Tanque de agua de reposición para el filtro	1	F/S		561 ft ³	3
G-7707	bomba de agua a los reactores	1	F/S			3
G-7708	Bomba de alimentación		F/S		344 GPM	1

En las tablas anteriores se pueden visualizar ciertas variables importantes relacionadas con cada uno de los equipos presentes en la planta FOR-1, se puede ver que la mayoría de los equipos están disponibles y funcionan. Sin embargo algunos equipos se encuentran fuera de servicio (F/S) debido a los distintos modos de operación a los que se ha sometido la planta FOR-1.

Por otro lado, se destaca que, equipos como el tanque de agua tratada (F-7704) y la bomba de agua tratada (G-7706), tienen 1 en su jerarquía de criticidad, debido a que los mismos no poseen equipos similares los cuales sirvan de respaldo, al igual que el filtro deshidratador de lodos (M-7709G) el cual es el equipo, que según los estudios, posee mayor criticidad en la planta, ya que este es el que genera los principales problemas en el procesamiento y tratamiento de las aguas y de los lodos. Con el desarrollo del estudio de criticidad, se determinaron las potencialidades y debilidades del sistema, el cual permitió identificar y ubicar las debilidades de la planta y orientó el trabajo para la búsqueda de la mejor solución.

A continuación se presenta la figura N° 3a. donde se muestra un esquema simplificado de las plantas FOR-1 y SNEA y se identifican las principales debilidades identificadas en estas plantas.

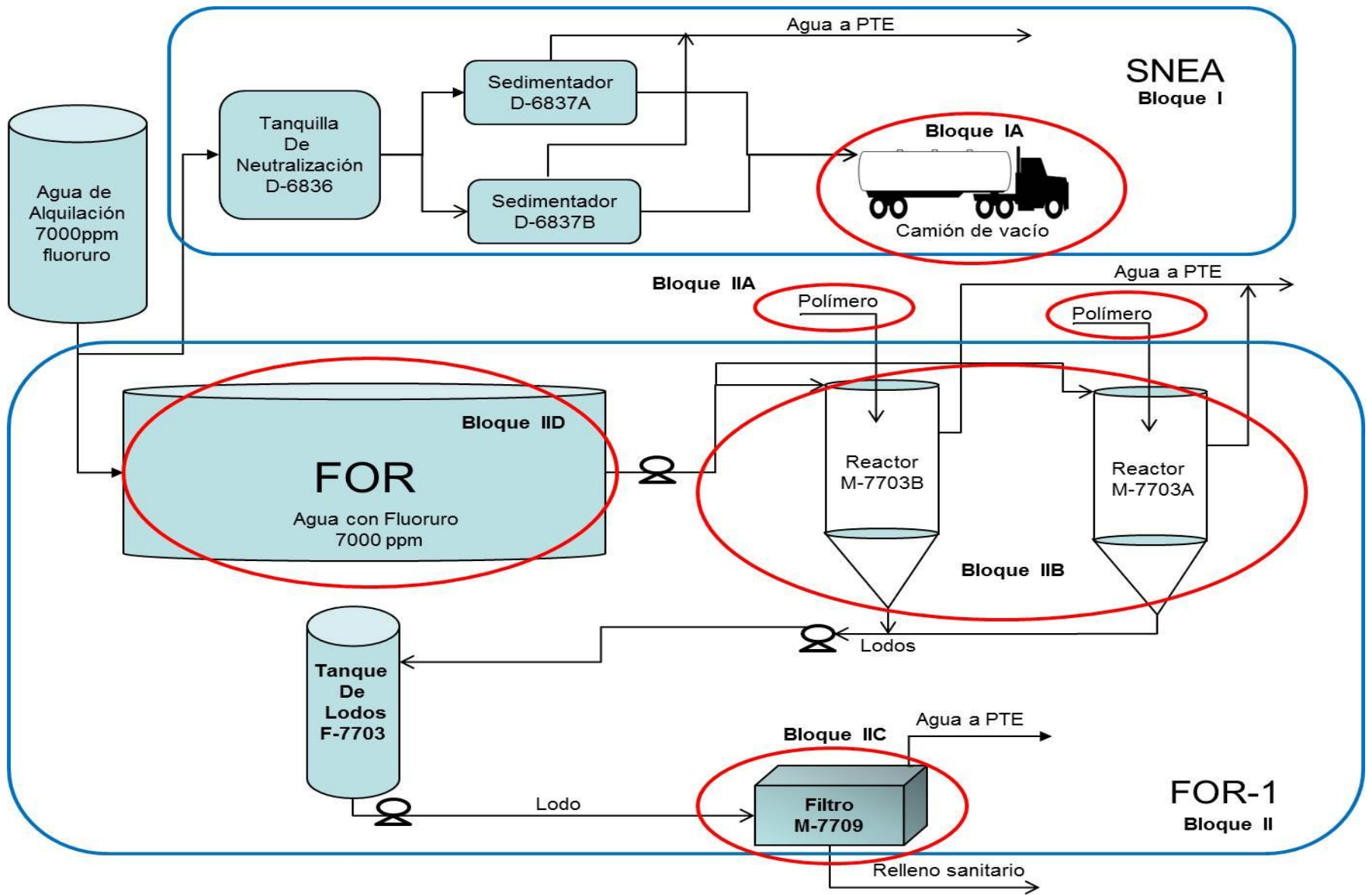


Figura N° 3a. Esquema de las plantas FOR-1 y SNEA.

La figura N° 3a, refleja un esquema simplificado de cómo se encuentran ubicadas las plantas FOR-1 y el SNEA, donde también se reflejan cuáles son las principales fallas presentes. El esquema se presenta en bloques, el bloque I corresponde al SNEA, mientras que el bloque II a la planta FOR-1.

Sobre el Bloque IA, se muestra la deficiencia principal que existe en el SNEA, el problema consiste en que no se cuenta con un proceso adecuado para la disposición final de los lodos que se generan producto del tratamiento de las aguas de alquilación. Actualmente para solucionar el problema de los lodos del SNEA se contrató una empresa, la cual mediante un camión de vacío succiona los lodos de las tanquillas sedimentadoras D-6837 A/B y se los lleva para posteriormente darle un tratamiento adecuado a fin de que puedan ser dispuestos en un relleno sanitario.

Se considera el bloque IA como un problema dado que representa una debilidad para la refinería ya que existe una alta dependencia en la operación de la planta de alquilación con la contratista. Esta dependencia se ve en el sentido de que si por alguna razón la contratista encargada de llevarse el lodo, se le presenta algún problema y deje de llevarse el lodo, el SNEA estaría obligado a parar sus operaciones por no tener donde almacenar el lodo que se genere producto del tratamiento de las aguas de alquilación. Este problema también obliga a la planta de alquilación a parar sus operaciones ya que, se estarían generando aguas con excesos de fluoruros y no pueden ser tratadas en el SNEA. Además, tampoco pueden ser almacenadas en el reservorio FOR dado que este actualmente se encuentra al borde del colapso. Por otra parte, otra debilidad que se presenta en este bloque, consiste en los altos costo que representa para la refinería el tener que pagar a una contratista para que se encargue del tratamiento de estos lodos.

Otra deficiencia que se presenta, es la que se resalta como el bloque IIA, la cual consiste en el proceso de floculación con los polímeros que suministran los proveedores. El problema que se presenta en este caso es que para este proceso no se ha seleccionado el polímero de mejor desempeño ni se tiene un control en relación a

la dosificación adecuada de todos los que se emplean actualmente. Esta debilidad en la planta se traduce en una falla en el proceso de floculación de los lodos ya que en la mayoría de los casos no se emplea el polímero más eficiente y al no usar la dosificación adecuada se estaría gastando de manera injustificada polímero, lo cual representa también un gasto adicional.

Otra debilidad es la que se presenta como el bloque IIB en la figura 3a, la cual está asociada con los reactores M-7703 A/B de la planta FOR-1. El problema se presenta en el sistema de medición en línea de la cantidad de fluoruro presente en las aguas provenientes del reservorio FOR. Con esta limitación la planta se ve obligada a determinar la cantidad de fluoruro de forma manual en los laboratorios de la refinería, lo cual, representa un tiempo muerto para las operaciones de la planta. Es por ello que la planta FOR-1 se limita a solo procesar una carga al día operando solo dos turnos de 8 horas por día.

Con el sistema de medición en línea la planta es capaz de procesar una carga por turno, es decir hasta dos cargas día, lo cual implica una duplicación de la capacidad operativa en la planta. Finalmente se establece que, el problema en el sistema de medición en línea representa una limitación para la capacidad operativa de la planta FOR-1.

El filtro de banda M-7709 representa una debilidad en la planta, dado que, este equipo es el que presenta las mayores fallas. Esta debilidad de la planta FOR-1 se representa en la figura 3a como el bloque IIC, el principal problema que se presenta en el filtro es el rompimiento prematuro de las bandas y es por esta razón que actualmente la planta FOR-1 se encuentra fuera de servicio, dado que el filtro es un equipo con criticidad 1 y además las bandas del filtro son costosas y deben ser compradas fuera del país.

Considerando la magnitud de este problema se realizó un estudio detallado al filtro, a fin de determinar la causa principal del rompimiento de las bandas y se determinó que, la razón principal es porque el lodo que se alimenta al filtro, entra fuera de las

especificaciones de humedad que recomienda el fabricante del filtro. El filtro está diseñado para tratar lodos con una humedad entre 60 y 75% en peso, mientras que en este caso el lodo estaba entrando al filtro con una humedad cercana al 90%p, lo cual justifica el rompimiento prematuro de las bandas debido a que estas debían ser sometidas a sobrepresiones para deshidratar el lodo. Las bandas operando normalmente con un lodo con un porcentaje de humedad adecuado pueden durar hasta un año sin presentar problemas, sin embargo, se observó que en la planta FOR-1 las bandas del filtro presentaban fallas cada dos semanas aproximadamente y es por esto que este problema se considera como el de mayor magnitud en relación a los demás.

Finalmente otro de los problemas encontrados es el que se representa en la figura 3a como el bloque IID el cual está relacionado con el reservorio FOR, en la actualidad este reservorio se encuentra al borde del colapso porque ya alcanzo su límite de almacenamiento de aguas. El desbordamiento de este reservorio significaría una tragedia ya que, contiene millones de litros de aguas con alrededor de 7000ppm de fluoruro y se encuentra a unos pocos metros el mar, además a menos de 200 metros se encuentran personas viviendo.

Luego de hacer el diagnóstico en las plantas, se identificaron los principales problemas que existen en ellas, a continuación se presentan las modificaciones que se deben realizar en las plantas a fin de eliminar cada una de las debilidades que presentan.

4.2 Identificación de las modificaciones y mejoras requeridas en la planta FOR-1 para hacer factible el procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R, de la Planta de Alquiler.

A continuación se presenta la figura 3b, en la cual se muestra el esquema simplificado de operación de la planta FOR-1 y el SNEA con las modificaciones que se proponen.

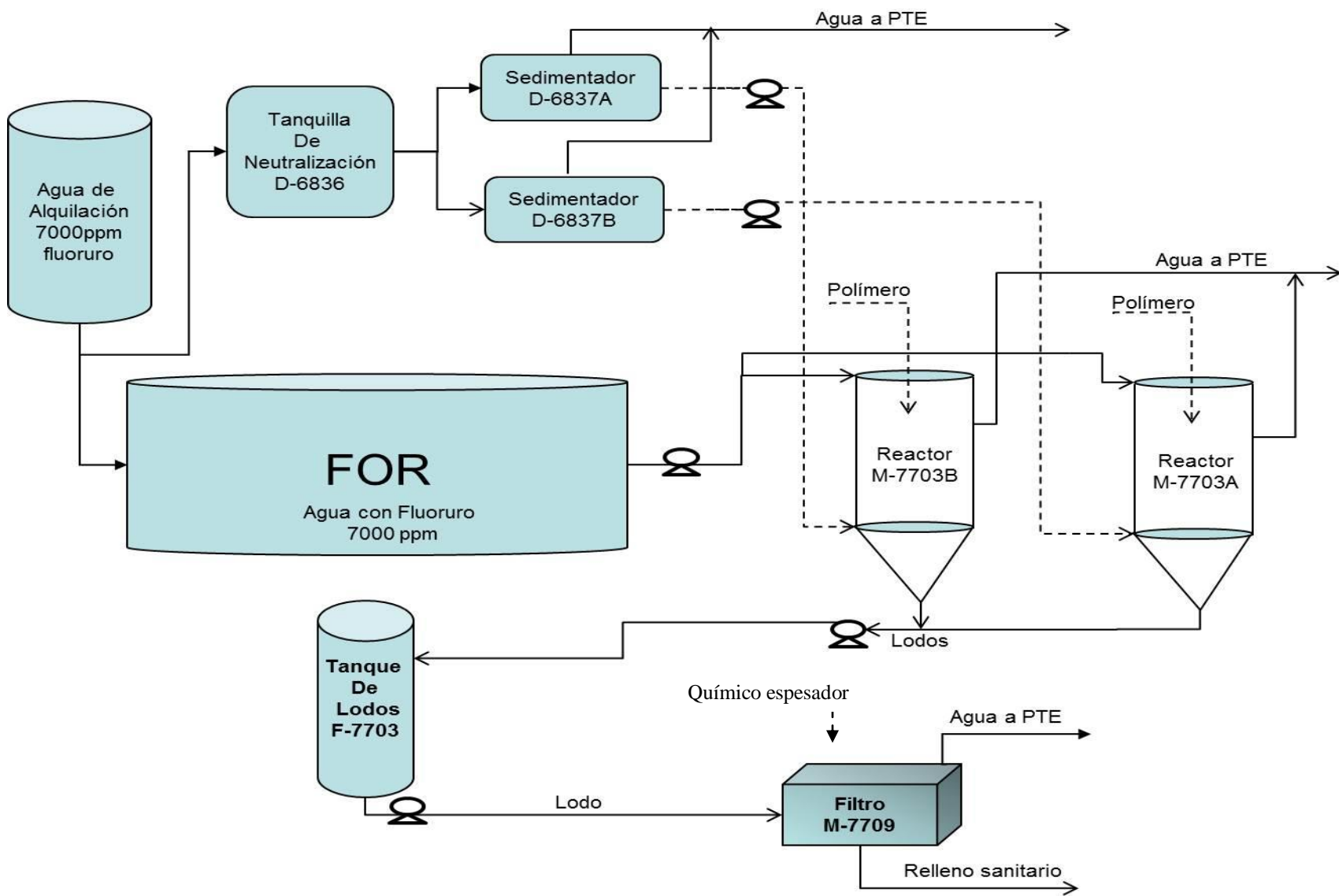


Figura N° 3b. Esquema simplificado de las modificaciones al FOR-1 y el SNEA

En la figura anterior se proponen todas las modificaciones que permiten solventar cada uno de los cuellos que botellas que se identificaron.

Para solventar el problema del bloque IA, se propone enviar los lodos desde las tanquillas D-6837 A/B hasta la planta FOR-1, específicamente entrarán a los reactores M-7703 A/B. Los lodos entran a los reactores de forma conjunta con la carga de agua del reservorio FOR.

Para enviar los lodos se propone la instalación de una nueva línea tubería de tres pulgadas de diámetro que conecte las tanquillas del SNEA con los reactores del FOR-1. Para esto también se hace necesario la incorporación de un sistema de bombeo el cual permita en envié de los lodos.

Con la conexión del SNEA con el FOR-1 se estaría solventando en primer lugar la dependencia que se presenta para el tratamiento de los lodos con la empresa contratista. Adicionalmente, se evitaría el costo que representa la contratación de una empresa para que se encargue de tratar estos lodos y se aprovecharía también un leve exceso de cloruro de calcio presente en los lodos del SNEA.

Según el modo de operación del SNEA, cada tanquilla sedimentadora tarda alrededor de dos meses en llenarse de lodos, y el proceso se realiza de forma intercalada, es decir, mientras una se está llenando la otra está siendo descargada. Como la capacidad operativa de cada reactor (M-7703 A/B) según el diseño original es de 2119 ft³, y considerando que la carga de agua proveniente del reservorio FOR es de 1377 ft³, queda un margen de flexibilidad de unos 742 ft³. Por lo cual, se pueden aprovechar 742 ft³ de capacidad disponible en cada reactor con el lodo que se genera en el SNEA, esto con el fin someter los lodos del SNEA a un proceso de floculación mediante la adición de un polímero para así eliminar la mayor cantidad de agua y químicos contaminantes del lodo.

Cada tanquilla sedimentadora tiene una capacidad de almacenamiento de 20165 ft³, se estima que el tiempo de vaciado de cada tanquilla será de aproximadamente de 14

días. Esto teniendo en cuenta que diariamente se procesa una carga, dado que la planta FOR-1 no opera durante las 24 horas del día, solo operan dos turnos al día cada uno de 8 horas y además el sistema de muestreo automático en línea para la verificación de la concentración (ppm) de fluoruro en el agua tratada en los reactores no está operativo.

Para solventar la debilidad presentada en el bloque IIA, la modificación que se propone es seleccionar de todos los polímeros que se emplean para la floculación, el que presente mejor desempeño y además recomendar la dosificación adecuada para el proceso. La selección del polímero y la determinación de la dosificación adecuada se presentan más adelante, donde se reflejan los resultados relacionados con las pruebas de laboratorio realizadas.

La selección del polímero de mejor desempeño permitirá que el proceso de floculación sea más eficiente lo cual hace que el lodo que salga de los reactores tenga la menor cantidad de agua posible y esto a su vez no genere problemas en filtro de bandas. Por otra parte, una buena dosificación del polímero también ayuda el proceso de floculación y además evita el gasto innecesario de polímero.

El problema del bloque IIB consiste en una falla en el sistema de monitoreo en línea para la determinación de la cantidad de ppm de fluoruro presente en las aguas tratadas en los reactores de la planta FOR-1. Sin embargo, la planta puede operar de forma manual, haciendo el muestreo y la cuantificación del contenido de fluoruro en los laboratorios de la refinería, en este caso, dado el alto costo del equipo automatizado, se sugiere operar la planta de forma manual. Se recomienda a la refinería incorporar el equipo de monitoreo en línea, ya que con este equipo la planta FOR-1 sería capaz de procesar al menos una carga en los reactores por cada turno lo cual aumentaría la eficiencia del proceso y a su vez aceleraría el vaciado del reservorio FOR.

En el bloque IIC, se presenta el principal problema que consiste en las fallas del filtro prensa, para evitar las fallas en el filtro prensa se plantea que el lodo que se envía al filtro debe tener una humedad que debe estar comprendido entre (60-75) %p. y que,

ese es el rango recomendado por el fabricante para que el filtro opere sin problemas. Para asegurar la humedad en el lodo primero se procede optimizando el proceso de floculación como se mencionó anteriormente y luego, el lodo antes de ser enviado al filtro debe ser sometido a un proceso de espesado mediante la adición del químico espesador. El químico espesador es un producto que aumenta la cantidad de sólidos en el lodo lo cual hace que la humedad baje, en la refinería se cuenta con un proceso para espesado de lodos el cual había sido sacado de servicio. Se recomienda activar nuevamente el proceso de espesado de lodos.

Como se mencionó anteriormente, el filtro también presenta fallas debido al uso de cal como agente secuestrante de los iones fluoruros presentes en las aguas de alquilación, este problema se evita con el uso del cloruro de calcio como agente neutralizador de los iones fluoruro, el cual a la vez también reduce la cantidad de lodos producidos.

En el bloque IID se presenta el problema de que el reservorio FOR se encuentra al borde del colapso, con la puesta en marcha de la planta FOR-1 se estarían tratando las aguas del reservorio FOR lo cual haría que bajen los niveles que actualmente presenta el reservorio y esto evitaría que el reservorio colapse, además con el funcionamiento del SNEA se evita el aumento de los niveles de agua en el reservorio.

Luego de identificar todas las modificaciones necesarias para solventar todos los problemas encontrados en las plantas FOR-1 y el SNEA, a continuación se presentan los cálculos requeridos en el rediseño de los principales equipos y variables de procesos.

4.3 Rediseño de los principales equipos y variables de proceso de la planta FOR-1 para adecuarlos al procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R.

En esta sección se presenta los resultados relacionados con el rediseño de equipos y variables de proceso que permitan el procesamiento de los lodos del SNEA y del FOR-1. Luego la identificación de las modificaciones a realizar en las plantas se pudo

determinar que para esta propuesta se requiere del diseño de una nueva línea de tubería y de un sistema de bombeo que permita trasladar los lodos generados en el SNEA hacia los reactores del FOR-1.

A continuación se presenta la tabla N° 5, en la cual se presentan los resultados relacionados con el dimensionamiento de la línea de tubería que comunicará los lodos del SNEA con la planta FOR-1. El modelo de cálculo que permitió llegar a estos resultados se puede visualizar en el apéndice A.

Tabla N° 5. Resultado de Diámetro y Velocidades en la Tubería

D (in)	V _c (ft/s)	V _{mt} (ft/s)
2,83	6,14	8,10

Comparando los resultados obtenidos se tomó para el diseño el caso que presentó menor diámetro o lo que es lo mismo, mayor velocidad crítica de sedimentación; por lo que los resultados finales son los presentados en la Tabla N° 5, correspondiente a la lechada diluida Newtoniana en flujo homogéneo con un diámetro de tubería de aproximadamente 3 pulgadas. Como se puede apreciar la velocidad es moderada; tal que se evita la deposición de sólidos en la tubería (velocidad baja) y la erosión de las mismas (velocidad alta). Para el cálculo del diámetro se fijó un caudal de 150gpm considerando que el tiempo de traslado de los lodos desde SNEA hacia los reactores sea de aproximadamente una hora para así completar toda una carga durante una jornada trabajo.

Seguidamente, se presenta la tabla N° 6, donde se muestran los resultados del dimensionamiento del sistema de bombeo de los lodos del SNEA hacia los reactores de la planta FOR-1.

Tabla N° 6. Resultados del dimensionamiento preliminar de la bomba

Características de la Bomba	
P _{succión} (psi)	13,75
NPSHd (ft)	28,05
Cabezal Total (ft)	54,69
P _{descarga} (psi)	39,56
Potencia (HP)	3

Estos resultados muestran que la bomba requerida no es tan grande, aun cuando en el diseño de esta se contempló un sobrediseño, con el fin de que en la planta se tenga una flexibilidad operacional a fin de que se puedan optimizar las operaciones en caso de ser necesario. Los detalles del cálculo de la bomba se pueden visualizar en el apéndice A.

En esta propuesta de rediseño de la planta FOR-1 se plantea la incorporación de dos bombas para el traslado de los lodos desde el SNEA hacia los reactores, la razón es porque cada bomba se acoplará a cada una de las tanquillas sedimentadoras D-6837 A/B, las cuales tendrán un sistema de tuberías para que operen como bombas sumergibles, se recomienda el uso de dos bombas porque se trata de dos tanquillas sedimentadoras.

La alimentación de lodos hacia los reactores será de tal forma que no se afecte la filosofía operacional con la cual fue diseñada la planta FOR-1. Es decir, los reactores del FOR-1, cada uno recibirá el mismo volumen de agua del reservorio FOR para el cual se diseñaron.

El siguiente punto que se presenta, corresponde a las pruebas de jarras realizadas para la selección del polímero que mejor se adapta al proceso y la dosis que se debe emplear para el proceso de floculación.

4.4 Determinación del polímero floculante de mayor eficiencia y su dosificación recomendada para el tratamiento de los lodos del SNEA y del FOR.

Con el fin de establecer cuál es el polímetro más eficiente para el secado de los lodos del SNEA y del reservorio FOR, se realizaron pruebas de jarras en las instalaciones de los laboratorios de la refinería El Palito, en la sección de apéndices se muestran tablas en las cuales se reflejan las características de los polímetros utilizados en las pruebas de jarras y los resultados obtenidos.

En la figura que se muestra a continuación se presenta una gráfica que refleja el costo de los distintos polímeros floculantes.

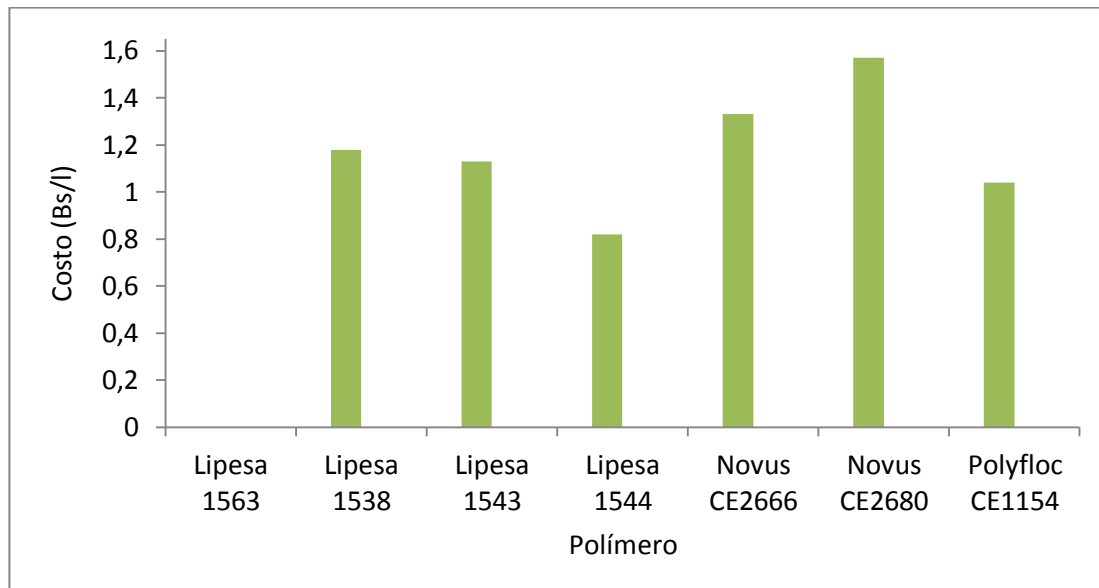


Gráfico N° 1. Costos de los polímeros

En la sección de apéndices se muestra la tabla completa con las variables: precio de los polímeros, volumen y costo total para la preparación de cada jarra, se refleja la cantidad de polímetro empleada en cada prueba realizada. La cantidad que se usó en cada prueba se determinó a través de unas pruebas en las cuales se agregaron pequeñas porciones de cada polímetro a distintas muestras del coloide y se midió la turbidez en cada caso. Luego graficando turbidez en función de la cantidad de

polímetro agregado, se pudo determinar la dosificación adecuada de cada polímero a utilizar. En esta misma tabla se puede visualizar que para los polímeros recomendados por el proveedor Lípasa, se requiere de mayor cantidad por cada litro de muestra tratada que para el caso de los polímeros recomendados por el proveedor GE BETZ (ver sección de apéndices). El polímero Novus CE2680 es el que cumple su función de floculante con la menor cantidad de volumen.

En la gráfica se puede observar que el polímero más costoso es el Novus CE2680. Sin embargo, es el más eficiente en el proceso de deshidratación ya que es el que requiere de menor cantidad por cada litro de lodo tratado.

A continuación se presenta la tabla N° 9 con los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas y la tabla N° 10 que muestra una matriz de selección utilizada para determinar el polímero de mayor desempeño en la floculación del lodo a tratar.

Tabla N° 9. Resultados de los ensayos realizados para la selección del polímero a una dosis correspondientes a 100rpm.

Pruebas	Turbidez (NTU)				Velocidad de sedimentación (min.)				Altura de sólidos (%)				Altura de la columna de líquido (%)				Tamaño de floculo (N° de índice)			
	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.
Lípesa 1538	8	0	11	6	2	2	2	2	43,59	43,24	46	44,3	56,41	56,76	54,05	55,7	10	10	10	10
Lípesa 1538	203	175	131	170	60	60	60	60	84,62	84,21	84,6	84,5	15,38	15,79	15,38	15,5	0	0	0	0
Lípesa 1543	304	507	264	358	60	60	60	60	71,05	66,67	69,2	69,0	28,95	33,33	39,77	34,0	0	0	0	0
Lípesa 1544	-	547	642	595	60	60	60	60	94,59	91,89	91,9	92,8	5,41	8,11	8,11	7,2	0	0	0	0
Novus CE2666	127	61	82	90	3	3	3	3	45,95	45,95	47,4	46,4	54,05	54,04	52,63	53,6	8	8	8	8
Novus CE2680	74	86	91	84	3	3	3	3	36,84	37,84	42,1	38,9	63,16	62,16	57,89	61,1	8	8	8	8
Polyfloc CE1154	59	53	111	74	3	3	3	3	58,97	36,84	66,7	54,2	41,03	63,16	33,33	45,8	0	6	0	2

Tabla N° 10. Matriz de selección en base a los resultados obtenidos en los ensayos de jarras.

Parámetro	Lípesa 1563	Lípesa 1538	Lípesa 1543	Lípesa 1544	Novus CE2666	Novus CE2680	Polyfloc CE1154
Turbidez	10	3	2	1	6	7	8
Velocidad de Sedimentación	10	1	1	1	9	9	9
Tamaño del Flóculo	10	2	0	0	8	8	5
Altura de Sólidos	9	3	5	2	8	10	1
Altura de Líquidos	9	3	5	2	8	10	1
Costos	-	6	6	10	4	1	1
Disponibilidad en el Mercado	0	10	10	10	10	10	0
Total	48	28	29	26	53	55	25

La tabla N° 10 muestra la matriz de selección para el polímero floculante deshidratador de lodos con un puntaje para cada ítem de 0 a 10 puntos; considerando 0 para la menor puntuación y 10 para la mayor; tomando en consideración 7 aspectos en total para la evaluación, tales como: turbidez, velocidad de sedimentación, tamaño del flóculo, altura de sólidos y altura de líquidos, costos y la disponibilidad en el mercado de cada químico usado en los ensayos; se obtuvo el polímero Novus CE2680 con 55 puntos, seguido por el Novus CE2666 sobre un total de 70 puntos; ambos pertenecientes a la contratista GE BETZ.

Esto se puede visualizar en la siguiente gráfica.

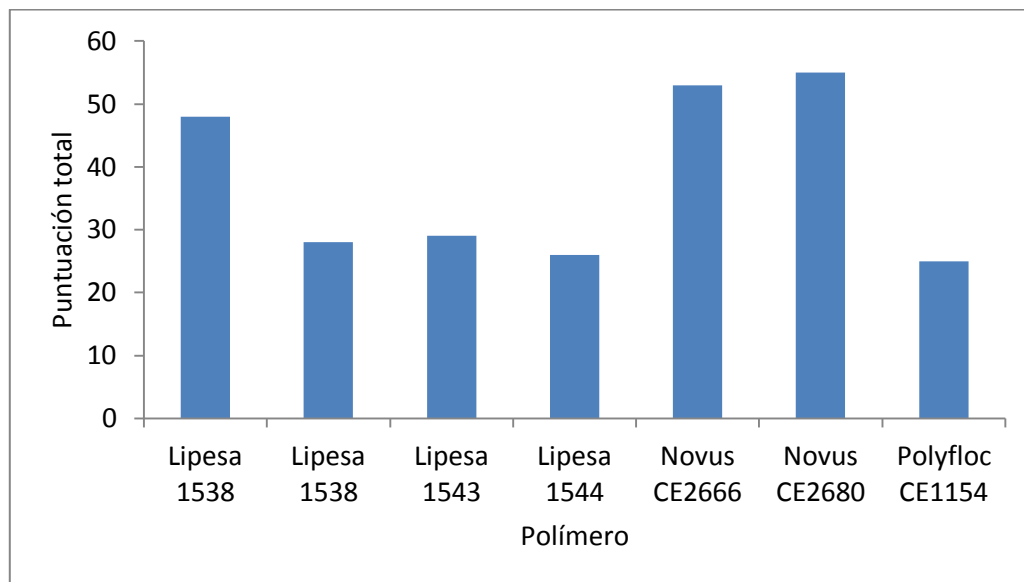


Gráfico N° 2. Puntuación de cada polímero.

Para este rediseño se propone emplear el polímero Novus CE2680 como agente floculante para la precipitación de los lodos tratados en este caso, dado que es el que presenta mejores propiedades tal como puede visualizarse en la gráfica N° 2, ofrece la posibilidad de eliminar el problema de las fallas en las bandas del filtro de banda. Ya que con este polímero el lodo que sale de los reactores tiene menor humedad y luego al pasar por el sistema espesador se garantiza que el lodo entre al filtro con la humedad que recomienda el fabricante del filtro.

Luego de haber seleccionado el polímero con su dosificación adecuada para el proceso de floculación, se concluyen todas las modificaciones propuestas en este trabajo, a fin de que, la planta FOR-1 pueda tratar los lodos del SNEA y del FOR. A continuación se presenta el estudio de la factibilidad técnica de las modificaciones y la determinación del impacto ambiental de los lodos ya tratados, al ser dispuestos como relleno sanitario.

4.5 Determinación de la factibilidad técnica y el impacto ambiental asociado a las modificaciones y mejoras que involucra el rediseño de la planta FOR-1.

Según el diagnóstico realizado en la planta FOR-1, se observa que alrededor del 60,4% de todos los equipos presentes en la planta puede funcionar sin ningún problema, sin embargo todos estos equipos no serán usados para el nuevo diseño de operación de la planta, en la siguiente tabla se presenta una lista detallada de todos los equipos necesarios para la nueva planta FOR-1, donde se muestra también cuales equipos de pueden ser reutilizados, según los resultados del diagnóstico ya realizado.

A continuación se muestra la tabla N° 11, en la cual se refleja cuáles son los equipos mecánicos necesarios para la nueva planta FOR-1 y se establece si el equipo está disponible así como también el estado actual en el que se encuentra el equipo.

Tabla N° 11. Equipos necesarios para la nueva planta FOR-1.

Equipos	Cantidad	Equipo disponible	Estado
Bomba Alimentación de agua al FOR-1	1	G -708	Funciona
Tanque receptor del reservorio	1	F -7701	Funciona
Tanque de agua aceitosa	1	M -7701	Funciona
Bomba de agua aceitosa	1	G -7703	Funciona
Bomba de alimentación a los reactores	1	G -7701	Funciona
Agitador de tanque de almacenamiento CaCl_2	1	M - 7702	Funciona
Tanque de almacenamiento de CaCl_2	1	F -7702	Funciona
Bomba de circulación de CaCl_2	1	G -7702	Funciona
Tanque de solución de polímero	1	M - 7706 D	Funciona
Agitador del tanque de polímero	1	M - 7706 E	Funciona

Bomba dosificadora de polímero	1	M -7709G	Funciona
Tanque de ajuste fino CaCl ₂	1	M -7706 G	Funciona
Agitador del tanque de ajuste fino CaCl ₂	1	M - 7706 H	Funciona
Bomba de ajuste fino CaCl ₂	1	M -7706 I	Funciona
Reactores	2	M - 7703 A/B	Funciona
Bomba de lodos de reactores a tanque de lodos	2	G-7704 A/B	Funciona
Agitadores de reactores	2	M - 7703 C/D	Funciona
Tornillos sin fin para reactores	2	M - 7703 E/F	Funciona
Bomba de agua tratada	1	G - 7706	Funciona
Tanque de agua tratada	1	F - 7704	Funciona
Agitador de tanque de lodos	1	M - 7704	Funciona
Tanque de lodos	1	F - 7703	Funciona
Bomba de transferencia de lodos al filtro	1	G - 7705	Funciona
Tanque para químico espesador	1	M - 7709A	Funciona
Bombas de agua de lavado del filtro	2	M - 7709 F1/F2	Funciona
Filtro deshidratador de lodos	1	M - 7709 G	Funciona
Tanque de agua de reposición para el filtro	1	F - 7706	Funciona
Bomba de lodos desde SNEA-FOR-1	1	NO HAY	-
Porcentaje de equipos disponibles %	97		

Este análisis de factibilidad técnica se realizó en función de un diagnóstico en la planta FOR-1, con el fin de dar información sobre los equipos presentes en la planta y la posibilidad de hacer uso de los mismos en el desarrollo del sistema propuesto, así como también se contempla los requerimientos de nuevos equipos.

En la tabla anterior se observa que un altísimo porcentaje de los equipos mayores necesarios para el nuevo funcionamiento de la planta FOR-1 se encuentran disponibles y funcionan correctamente, además estos equipos se adaptan perfectamente al requerimiento operacional que se les exige en la nueva operación de la planta FOR.1.

Por otro lado también se resalta la ausencia de una bomba para la transferencia de los lodos desde SNEA hasta el FOR-1, en este caso se tenía previsto disponer de una de las bombas de transferencia de lodos desde los reactores al tanque de lodos, dado que, en este sistema se dispone de dos equipos (G-7704 A/B), sin embargo, luego de un

diagnostico a la planta y el análisis de criticidad respectivo, se determinó que no es factible disponer de una de las bombas G-7704 A/B para enviar los lodos desde SNEA hasta el FOR-1, aun cuando estas bombas cumplen con las especificaciones técnicas para realizar este trabajo. La razón por la cual se llegó a esta conclusión se basa en que, al quitar una de las bombas G-7704 A/B, se baja el nivel de confiabilidad de esta etapa del proceso, lo cual se puede traducir en una baja significativa en el desempeño de estos equipos. En este caso se requiere comprar una bomba con características que se especificaron en la tabla N° 6 referente a los resultados del dimensionamiento de la bomba.

Este estudio de factibilidad técnica muestra que con esta propuesta se presentan una alternativa para el secado de lodos la cual se basa en que:

- ✓ Representa una mejora del sistema actual:
- ✓ Existe disponibilidad de tecnología que satisface las necesidades
- ✓ Se cuenta con herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc. que llevan a la ejecución de la propuesta

Por otra parte también se verificó que en la refinería El Palito se cuenta con todo el personal capacitado para desempeñar las labores de operación de la planta FOR-1 rediseñada, dado que en este caso, no se plantean cambios tan significativos en la nueva de operación de la planta.

Por otra parte también se realizó un estudio de impacto ambiental asociado a las modificaciones que se proponen en este trabajo, a continuación se presentan los resultado asociados a este estudio.

La determinación del impacto ambiental se basó en un estudio fisicoquímico que permitió conocer las características fisicoquímicas del lodo tratado que se enviará a relleno sanitario, determinaron lo posibles efectos que generarán estos lodos en el

relleno que serán depositados según un patrón de consideraciones ambientales tal como se refiere a continuación.

- ✓ Signo: en este caso se trata de un signo neutral, dado que el lodo no representa ninguna amenaza para el relleno en el cual se pretende depositar y tampoco le ofrece ningún tipo de beneficio.
- ✓ Intensidad: en este caso no hay destrucción del ambiente y por lo tanto la intensidad es nula.
- ✓ Extensión: dado que se trata de un signo neutral, no hay destrucción del ambiente. Sin embargo como la disposición de los lodos se hace en un lugar muy concreto, se trata de una extensión puntual.
- ✓ Momento: la disposición del lodo se hace de forma temporal es decir por un tiempo determinado y cada cierto periodo que depende de las operaciones de las plantas en la refinería.
- ✓ Persistencia: como no hay daños al ambiente en este caso, la persistencia de los daños no aplica.
- ✓ Recuperación: no hay daños considerables, de modo que si el ambiente no es degradado, no tiene daños de los cuales recuperarse.
- ✓ Suma de efectos: no existen en este caso, dado que el lodo no suma otro daño al lugar donde se deposita.
- ✓ Periodicidad: nula, no hay daños. El lodo se deposita cada vez que el camión de transporte de lodos se llena, el tiempo de llenado depende de la funcionalidad de las plantas como FOR-1, SNEA y alquilación.

Con todo esto, se establece que los lodos que salen del filtro para ser dispuestos como relleno sanitario, no generan ningún tipo de impacto en el relleno donde es

depositado. Es decir, es suelo no sufre ningún tipo de beneficios o daños producto del depósito de este lodo.

Finalmente se analizaron los principales riesgos ocupacionales asociados al procesamiento de los lodos, a continuación se presentan los resultado obtenidos luego para este análisis de riesgos.

4.6 Análisis preliminar de los potenciales y principales riesgos ocupacionales asociados al procesamiento de los lodos del SNEA y del F.O.R, en la planta rediseñada FOR-1.

El análisis preliminar de riesgos se hizo mediante la aplicación de un cuestionario de identificación de riesgos a diez trabajadores que conocen el funcionamiento y el modo de operación de la planta FOR-1, a continuación se muestran una serie de tablas en las cuales se reflejan los resultados luego de la evaluación de los riesgos más significativos. El cuestionario se puede visualizar en el apéndice B.

Tabla N° 12. Evaluación de riesgos.

Datos de Identificación de la Empresa.																			
<u>Empresa:</u> Refinería El Palito <u>Establecimiento:</u> Planta FOR-1			Fecha: Julio de 2011			No Trab: 10			ex:										
Área Instalación: Planta FOR-1																			
N°	Riesgos Identificados	Probabilidad			Consecuencias					Exposición									
		B	M	A	Humana			Materiales											
					0,5	1,0	1,5	2,5	4,5	0,5	1,0	1,5	2,5	4,5	0,5	1,0	1,5	2,5	4,5
1	Caídas de distinto niveles		X		X										X				
2	Caídas del mismo nivel		X		X										X				
7	Choque contra objetos			X			X								X				
9	Golpes o cortaduras		X			X									X				
17	Inhalación o ingestión			X				X							X				
18	Contactos con químicos			X				X							X				
24	Exposición a químicos		X			X									X				

Fuente: Revista Mapfre Seguridad

Tabla N° 13. Parámetros para la evaluación de los riesgos identificados

Valores	Consecuencias humanas	Consecuencias materiales \$	Exposición por personas
0,5	Lesiones leves.	0 a 200,00	0 a 20
1	Lesiones menos graves.	200,00 a 1000,00	20 a 70
1,5	Lesiones Graves.	1000,00 a 100 000,00	70 a 150
2,5	Muerte.	100 000,00 a 1 000 000,00	150 a 300

Continuación de tabla N° 13.

Valores	Consecuencias humanas	Consecuencias materiales \$	Exposición por personas
4,5	Varias muertes.	Más de 1 000 000,00	Más de 300

Fuente: Revista Mapfre Seguridad

En tabla donde se muestran los resultados de la evaluación de riesgos, la cual consiste en una matriz, se elaboró a partir de la revisión de cuestionario de identificación de riesgos aplicado, donde se seleccionaron los riesgos más votados. En esta tabla se observa que en la planta FOR-1 no hay riesgos de pérdidas materiales, sin embargo no se descarta cualquier eventualidad imprevista que pueda generar alguna pérdida material. De otro modo lo que se resalta en este caso son los riesgos N° 7, 17 y 18, dado que, son los que presentan mayor probabilidad y sus consecuencias son las peores, ya que según la tabla N° 13 de los parámetros para la evaluación de los riesgos identificados, la ponderación que se les dio a estos riesgos indica que si se llega a materializar alguno de ellos, van desde lesiones graves hasta varias muertes. Todo esto permite establecer que los mayores riesgos que se presentan en la planta FOR-1 son: choque contra objetos inmóviles, Inhalación o ingestión de sustancias nocivas y el contacto con sustancias nocivas. Estos riesgos se encuentran presentes en esta planta, ya que, se trata de una planta que está dentro de una refinería, y además se encuentra al lado de la unidad de alquilación donde se trabaja con fluoruro de hidrógeno, que es una sustancia muy toxica y mortal para los humanos que puede causar graves quemaduras, intoxicaciones y muertes.

También se puede observar en la tabla de evaluación de riesgos que existen cuatro riesgos con probabilidad media, los cuales pueden generar lesiones leves y menos graves, las cuales son: caídas del mismo y distintos niveles, también en este caso están los golpes o cortaduras por objetos o herramientas y la exposición a agentes físicos.

Por otra parte, también existen otros riesgos con probabilidad baja los cuales no se reflejan en la tabla de evaluación, son riesgos menores con lesiones leves.

Es evidente que en la planta FOR-1 se presentan riesgos importantes que van desde lesiones leves hasta la pérdida de varias vidas humanas. En este caso se recomienda que las personas que se encarguen de trabajar en la planta FOR-1 deben usar todos los equipos de seguridad necesarios para cada labor, guantes, tapa boca, tapa oídos, bragas, cascos, botas, mascarillas etc. Con el fin de minimizar las consecuencias que se pueden generar en caso de que se llegue a materializar algún tipo de riesgo.

4.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.7.1 CONCLUSIONES

A continuación se presentan todas las conclusiones a las que se llegó luego de la realización de este trabajo especial de grado.

- ✓ En la planta FOR-1 se requiere la incorporación de dos bombas sumergibles para enviar los lodos desde SNEA hasta el FOR-1
- ✓ Se requiere la instalación de línea de tubería que conecte el SNEA con la planta FOR-1.
- ✓ La mayoría de los equipos necesarios para la nueva planta FOR-1, que permite el procesamiento de los lodos del SNEA y del FOR-1, así como también el tratamiento de las aguas del reservorio FOR se encuentran disponibles y operativos planta FOR-1.
- ✓ El lodo tratado que sale del filtro prensa que luego es dispuesto en el relleno sanitario, no genera ningún tipo de impacto sobre el suelo en el cual es depositado
- ✓ En la planta FOR-1 existen cuatro riesgos con probabilidad media, los cuales pueden generar lesiones leves y menos graves, estos riesgos son: caídas del mismo nivel y distintos niveles, también en este caso están los golpes o cortaduras por objetos o herramientas y la exposición a agentes físicos
- ✓ En la planta FOR-1 existen tres riesgos mayores con probabilidad alta, los cuales son: choque contra objetos inmóviles, Inhalación o ingestión de sustancias nocivas y el contacto con sustancias nocivas, que pueden ocasionar daños que van desde lesiones leves hasta muerte.

4.7.2 RECOMENDACIONES

A continuación se mencionan algunas recomendaciones que se hacen con el fin de mejorar el desempeño de la planta FOR-1 y que a su vez optimizar el rendimiento de la planta.

- Se recomienda que el lodo que se introduce al filtro prensa M-7709 se encuentre siempre con una humedad que este entre el 60 y 75% en peso. Esto evitará futuras fallas prematuras en las bandas del filtro.
- Se recomienda emplear para la floculación de los lodos el polímero el Novus CE2680 con una dosificación de 1,65mL por cada litro de lodo a flocular. Ya que este es el que presenta mayor desempeño en comparación con los demás polímeros que se empleaban anteriormente.
- Se recomienda a la refinería El Palito reemplazar el sistema de medición en línea de la cantidad de fluoruro (ppm) presente en el agua tratada en los reactores M - 7703 A/B. Con la instalación de este sistema se aumentaría la capacidad operativa de la planta ya que sin este sistema, la planta FOR-1 solo puede procesar una sola carga al día, mientras que con el sistema de medición en línea de la cantidad de fluoruro se procesarían al menos dos cargas al día.
- Se recomienda que el personal que vaya a operar la planta FOR-1 reciba todo el adiestramiento necesario en términos de seguridad e higiene industrial y además se le informe sobre todos los riesgos a los que está expuesto en la planta notificándosele sobre las posibles acciones que debe tomar en caso que se le presenta alguna emergencia. La información del personal evitará la materialización de los riesgos a los que se somete el personal que opere la planta FOR-1.

CAPITULO V

MATERIALES DE REFERENCIA, APÉNDICES Y ANEXOS

5.1 BIBLIOGRAFÍA

1. Alemán, V. d. (1996). *Metodología de la Investigación* . Los Teques: FUNDA. CULTCA.
2. “Análisis comparativo de la utilización de hidróxido de calcio y cloruros de calcio como agentes precipitantes de fluoruros en la planta FOR”. PDVSA. Ingeniería de procesos. Febrero de 2008.
3. Amendola, L. J. (2006). *GESTIÓN DE PROYECTOS DE ACTIVOS INDUSTRIALES*. Valencia, España: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
4. Balestrini, M. y. (1995). *Informe Técnico y Administrativo*. Caracas: Panapo.
5. Brito, J. (1992). *Como elaborar una tesis*. Caracas: CENDES. UCV.
6. Cabrera, O. *Propuestas de procesamiento de los lodos producidos en la sección de neutralización de efluentes ácidos de alquilación*. El Palito. PDVSA
7. Decreto 2635. *Normas para el control de la recuperación de Materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos*. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5245 del 3 de Agosto de 1998.
8. “Descripción general del proceso, operación y control de la planta de tratamiento de agua del FOR de la Refinería el Palito”. DESPRO_PTA FOR. PDVSA.
9. “Descripción general del proceso, operación y control de la Sección de Neutralización de Efluentes Ácidos de la unidad de Alquilación de la Refinería el Palito de PDVSA”. DESPRO_SNEA. Abril 2009. PDVSA.
10. “Descripción general del proceso, operación y control de la unidad de Alquilación de la Refinería el Palito de PDVSA”. DESPRO_Alquilación. PDVSA. 2001.
11. LIPESA (1998). *Tratamiento químico del agua*. Caracas: IMPREGRAF. Venezuela.
12. Pérez, A. G. (2009). *Metodología para Anteproyectos de Investigación*. Caracas: FEDUPEL.

-
13. PEMEX. (05 de 01 de 2008). *ESTUDIO DE RIESGOS*, Consultado el 07 de 03 de 2011, <http://www.pemex.com/files/content/NRF-018-PEMEX-2007F.pdf>
 14. Cirujano, G. A. (2002). *La evaluación de los riesgos laborales*. Revista MAPFRE Seguridad. N° 79 Tercer Trimestre. (Madrid-España). P. 2.
 15. REPAMAR. (Agosto de 1999). *MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO*, Consultado el 24 de 01 de 2011, <http://www.bvsde.paho.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>
 16. Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.
 17. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL.

5.2 APÉNDICE

A continuación se presenta la sección de apéndices en la cual se muestra toda la información complementaria, descripción detallada de métodos empleados durante el desarrollo de este trabajo especial de grado.

Apéndice A

CÁLCULOS REALIZADOS

Luego de la identificación de las modificaciones que se deben realizar en la planta FOR-1, se tiene que; es necesaria una nueva línea de tubería que comunique los lodos que se generan en el SNEA con la plata FOR-1, así como también se requiere de una bomba para la transferencia de los lodos desde SNEA hasta la planta FOR-1.

En el cálculo para el diseño de la tubería se usó la Norma PDVSA N° MDP-02-FF-06, correspondiente al Manual de Diseño de Proceso de Flujo de Fluidos, “Flujo Bifásico Líquido-Sólido” aprobado para Septiembre de 1997. En esta norma se plasman los cálculos necesarios para el diseño básico del diámetro de la línea que se tiene previsto que conecte la parte final de SNEA con la planta de pretratamiento de aguas del FOR. Como se menciona anteriormente el flujo circulante por la tubería es una lechada (sólido-líquido), para la cual, hay que tener consideraciones especiales para prever obstrucciones futuras en la operación de la planta. La siguiente tabla muestra los datos iniciales requeridos para el diseño, tomando como aproximación que el líquido circulante es agua pura y el sólido presente en la lechada es el CaF_2 puro:

Tabla N° A1 Datos Iniciales para el Procedimiento de Diseño

Datos Iniciales	
Densidad del Líquido (ρ_l)	62,43 lb/ft ³
Densidad del Sólido (ρ_s)	198,52 lb/ft ³
Viscosidad del Líquido (μ_l)	7x10 ⁻⁴ lb/ft*s
Diámetro promedio de las Partículas (dp)	1,57x10 ⁻⁴ in

Continuación de tablas A1.

Diámetro de la partícula más pequeña	$2,36 \times 10^{-5}$ in
Diámetro de la partícula más grande	$4,33 \times 10^{-3}$ in
Gravedad Específica del Líquido (Sl)	1
Gravedad Específica del Sólido (Ss)	3,18
% peso de Sólidos en la lechada	11,85
% peso de Líquido en la lechada	88,14

Fuente: INTEVEP

Para el cálculo del diámetro de la tubería se fijó un caudal de 150gpm, se fijó este caudal considerando que los lodos del SNEA serán inyectados directamente a los reactores M-7703 A/B y se estimó que el tiempo de traslado de los lodos a los reactores sea de tal manera que la operación global se complete en una sola jornada de trabajo, en este caso la transferencia de los lodos hacia los reactores durara alrededor de una hora, luego el tiempo de transferencia al paquete espesador de lodos M-7709, debido a que el flujo que maneja la bomba G-7705 es de 30gpm, sería aproximadamente de 400 minutos; lo cual completa un turno de trabajo que era lo que en los inicios se pretendía con la planta FOR-1, es decir, la planta FOR-1. Para que esto fuese posible el caudal requerido por la bomba tendría que ser tal que permitiera que el proceso se completara en un turno del día. Es por ello que se fija el caudal de 150gpm; que aunque se conoce que está sobredimensionado para la filosofía que se requiere actualmente para la conexión de SNEA con el FOR, éste arroja mucha flexibilidad en cuanto a si en un futuro se quisiera volver al funcionamiento inicial del FOR trabajando sólo un turno para SNEA, dejando además maniobrabilidad operacional en la unidad. Considerando el caudal antes mencionado y las condiciones del flujo circulante (sólido-líquido), se determinó el diámetro de la tubería de la siguiente manera:

A.1. MODELO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA TUBERÍA

Para las velocidades de sedimentación (libre y obstaculizada) se procedió de la siguiente forma:

- Velocidad de Sedimentación Libre (V_f) La velocidad de sedimentación libre puede obedecer a 3 Leyes principalmente; la Ley de Stokes, la Ley intermedia y la Ley de Newton, es por ello que según los datos iniciales que se tienen se procede a hacer el cálculo de velocidad de sedimentación libre correspondiente a cada una de ellas; tanto para la partícula de menor como para la de mayor diámetro, posteriormente se calcula el Reynolds y se verifica en la Figura A.1. Qué Ley rige cada tamaño de partícula, mediante las ecuaciones 1, 2 y 3. Así como sigue: Para la partícula de menor diámetro ($dp = 6 \cdot 10^{-7}m$) se tiene:
- Ley de Stokes

$$V_f = F_{35} \frac{dp^2 \Delta S}{\mu L} \quad (1)$$

$$V_f = \frac{5,44 \times 10^{-4} \times (6 \times 10^{-7})^2 (3,18 - 1)}{0,001} = 4,27 \times 10^{-7} \text{ m/s} = 1,4 \times 10^6 \text{ ft/s}$$

$$Re = 1 \left[\frac{6 \times 10^{-7} \times 4,27 \times 10^{-7} \times 1}{0,001} \right] = 2,56 \times 10^{-10}$$

- Ley Intermedia

$$V_f = F_{36} \frac{(dp)^{1,143} (\Delta S)^{0,714}}{(\mu L)^{0,429} (Sl)^{0,286}} \quad (2)$$

$$V_f = \frac{5,44 \times 10^{-4} \times (6 \times 10^{-7})^{1,143} (3,18 - 1)^{0,714}}{(0,001)^{0,429} (1)^{0,286}} = 3,91 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 1,28 \times 10^{-4} \text{ ft/s}$$

$$Re = 1 \left[\frac{6 \times 10^{-7} \times 2,35 \times 10^{-8} \times 1}{0,001} \right] = 2,35 \times 10^{-8}$$

- Ley de Newton

$$Vf = F_{37} \left[\frac{dp \Delta S}{Sl} \right]^{0,5} \quad (3)$$

$$Vf = 0,1722 \left[\frac{1,1 \times 10^{-4} (3,18 - 1)}{1} \right]^{0,5} = 0,0843 \text{ m/s} = 0,28 \text{ ft/s}$$

$$Re = 1 \left[\frac{1,1 \times 10^{-4} (0,0843) \times 1}{0,001} \right] = 9,276$$

$$Re = F_{38} \left[\frac{dp \times Vf \times Sl}{\mu l} \right] \quad (4)$$

Según la Figura A.1. la partícula de menor diámetro se rige por la ley de Stokes, debido a que el Reynolds obtenido es muy bajo, lo cual deja claro el comportamiento de la partícula más pequeña regida por la Ley de Stokes, y la de mayor diámetro por la ley Intermedia.

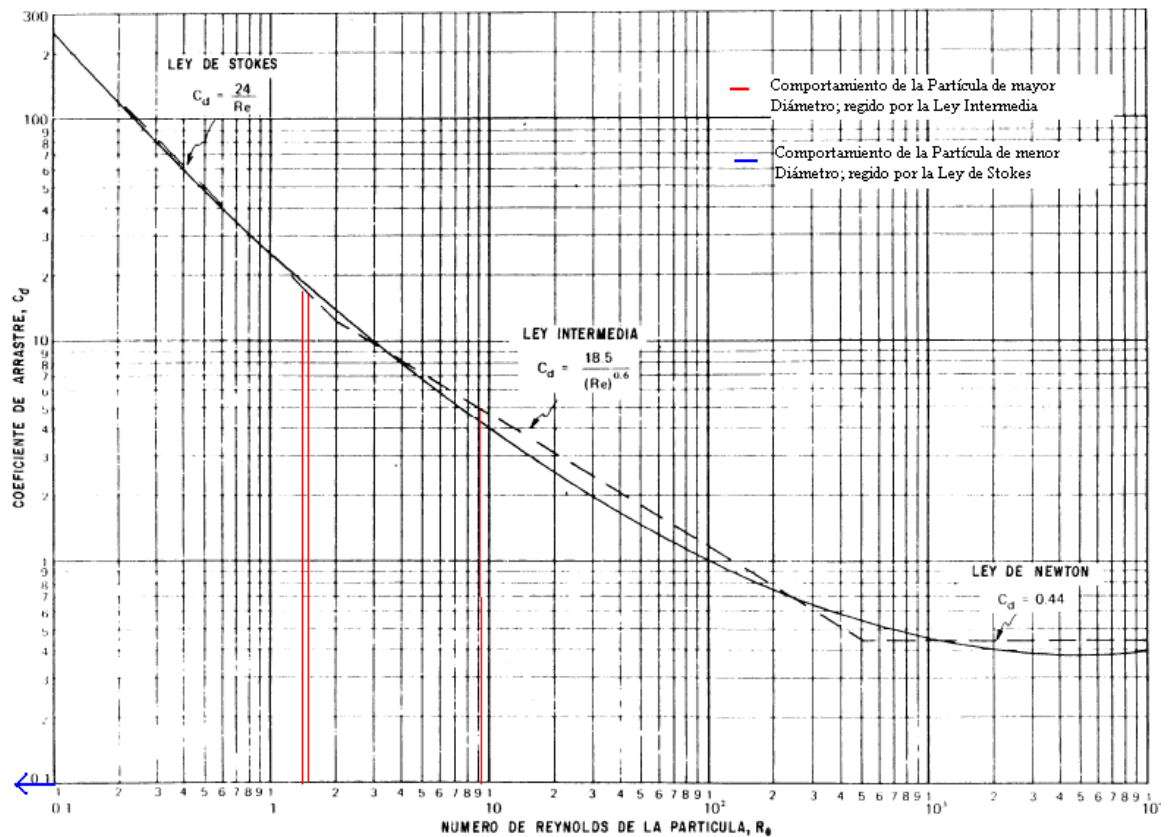


Figura A.1. Coeficiente de Arrastre para esferas rígidas con los cálculos obtenidos.

- Velocidad de Sedimentación Obstaculizada (V_h)

Esta velocidad está referida a la partícula de mayor diámetro. Para ello se necesita conocer el valor de la fracción de volumen en sólidos y la relación existente entre la velocidad de sedimentación obstaculizada y la velocidad de sedimentación libre que se hace mediante la Figura A.2. y las ecuaciones 5, 6 y 7. Como sigue:

$$\rho L = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\rho_s}\right) + \left[\frac{(-\omega)}{\rho l}\right]} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\rho L - \rho l}{\rho_s - \rho l} \quad (6)$$

$$V_h = F_h \times V_f \quad (7)$$

$$\rho L = \frac{1}{\left(\frac{0,1185}{3180}\right) + \left[\frac{(-0,1185)}{1000}\right]} = 1088,43 \text{ kg/m}^3 = 67,95 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho L = \frac{1088,43 - 1000}{3180 - 1000} = 0,04$$

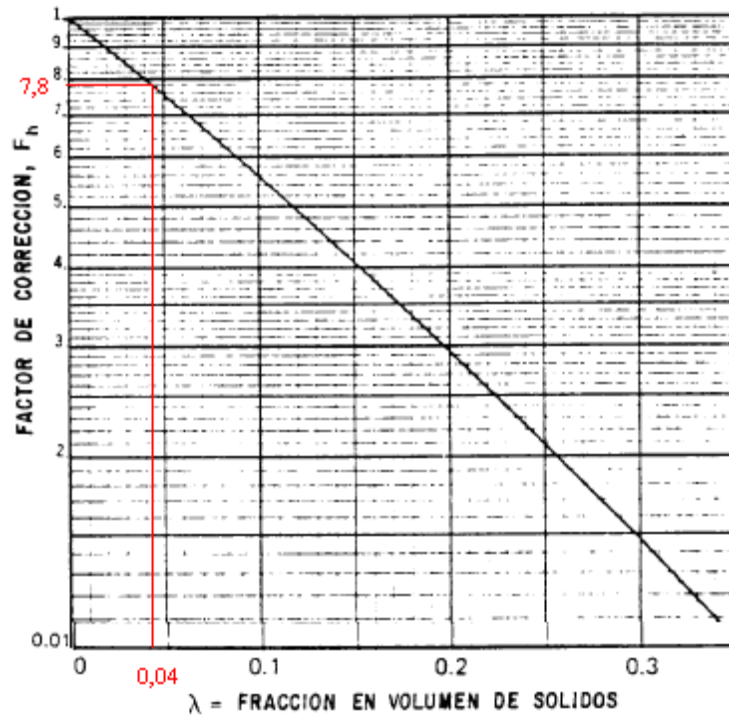


Figura A.2. Factor de corrección para la velocidad de sedimentación obstaculizada para el valor de λ del caso de estudio

Según la Figura A.2. el factor de corrección para la velocidad de sedimentación obstaculizada (Fh) es aproximadamente 7,8; por lo tanto, el valor de dicha velocidad es:

$$V_h = 7,8 \times 0,0151 = 0,118 \text{ m/s} = 0,39 \text{ ft/s}$$

Con el valor de ambas velocidades se puede calcular el régimen de Flujo mediante la siguiente Tabla.

Tabla A2. Régimen de Flujo de Lechadas en Tubería Horizontal

Régimen de Flujo	Velocidad de Sedimentación Obstaculizada de la partícula más grande de la lechada (m/s)	Velocidad de Sedimentación Libre de la partícula más pequeña de la lechada (m/s)	Velocidad Lineal de la Lechada
Homogénea	$\leq 0,0006$	-	-
Intermedio	$> 0,0006$	$< 0,006$	-
Heterogéneo	$> 0,0006$	$> 0,0006$	$> V_c$
Sedimentante	$> 0,0006$	$> 0,0006$	$< V_c$

Según los valores obtenidos anteriormente el régimen de flujo para la partícula de menor diámetro es homogéneo y para la de mayor diámetro es intermedio; es por ello que se debe calcular la velocidad crítica de sedimentación para régimen homogéneo y para régimen heterogéneo y seleccionar el criterio de diseño más conservador, es decir, aquél del que se obtenga la mayor velocidad de sedimentación crítica. Para el cálculo de la viscosidad de la lechada se debe conocer la viscosidad del líquido y el factor de viscosidad relativo a la lechada; el cual se obtiene mediante la Figura A.3. y la ecuación 8.

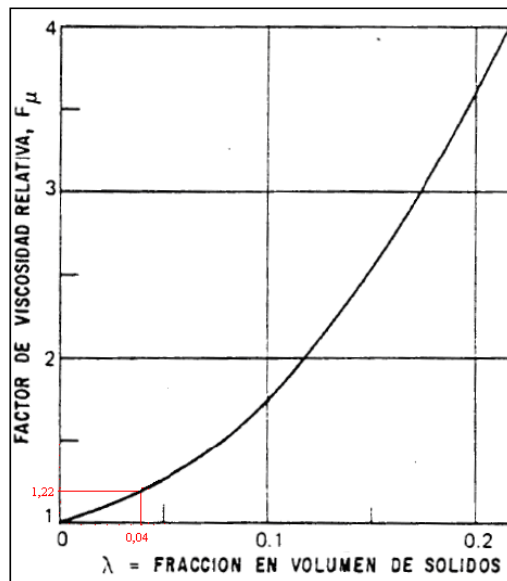


Figura A.3. Factor de viscosidad Relativo a la Lechada para el valor de λ del caso de estudio.

De esta forma se tiene que:

$$\mu L = F\mu^* \mu l \quad (8)$$

$$\mu L = 1,22 \times 0,001 = 0,00122 Pa \cdot s = 8,2 \times 10^{-4} lb/ft \cdot s$$

Para el cálculo de la velocidad crítica de sedimentación se procede suponiendo flujo homogéneo; igualmente se realizan los cálculos para lechadas compactas y diluidas Newtonianas en flujo homogéneo, para ello se utilizaron las ecuaciones 9, 10, 11 y 12: Para la lechada compacta Newtoniana de flujo homogéneo se realiza el tanteo de forma tal que el Reynolds resulte igual o ligeramente mayor a 4000, para garantizar la turbulencia. Para el primer tanteo se puede suponer un diámetro tal que la velocidad se encuentre entre 1,2 y 2,1 m/s. Luego de realizado el tanteo, haciendo uso de las ecuaciones 9 y 10 y fijando un caudal de 150 gpm, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$V = 4 \frac{Q}{\pi D^2} \quad (9); \quad Re = F_{39} \frac{DV\rho}{\mu} \quad (10); \quad V_c = \frac{F_{40}(Vf)^{0,277}}{f^{0,5} \left(\frac{dp \times \rho l}{\mu l} \right)^{0,723}} \quad (11);$$

$$V_c = F_{41} \frac{\mu l}{\rho l \times D} \quad (12)$$

Tabla A.3. Resultados del Tanteo para Lechada Compacta en Flujo Homogéneo

D (in)	V (ft/s)	Re
3,54	5,15	126214
19,69	0,16	22719
59,06	0,02	7573
110,24	0,0066	4057

Por lo tanto la velocidad crítica de sedimentación es 0,0066 ft/s con un diámetro de tubería de 110,24 pulgadas.

Lechada Diluida Newtoniana de Flujo Homogéneo: Se procedió a calcular la

$$\text{expresión } \frac{7D}{f^{0,5} \text{Re}} = \frac{7 \times 0,036}{0,0119^{0,5} \times 4573,19} = 5,051 \times 10^{-0,5} \text{ partiendo del diámetro y la}$$

velocidad obtenidos en el tanteo para lechada Compacta. Con estos valores se calcula el Reynolds y como se ve en la Figura A.4. Se calcula el factor f y se obtiene la expresión anterior.

$$\text{Como se cumple que } dp \leq \frac{7D}{f^{0,5} \text{Re}}; \text{ debido a que la partícula de menor diámetro es}$$

de 6×10^{-7} , entonces se tiene que la Velocidad Crítica de Sedimentación se obtiene por la ecuación 11 y el factor f como se muestra a continuación:

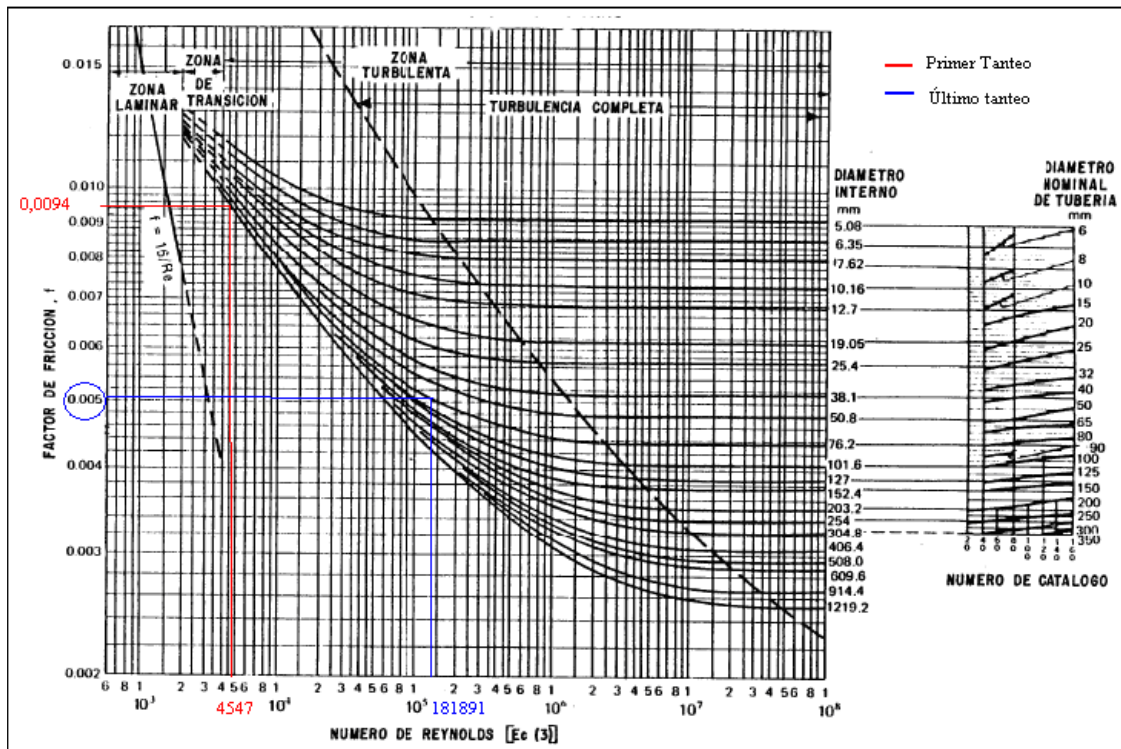


Figura A.4. Factores de Fricción para tuberías de Acero Comercial para los valores dados del tanteo realizado

$$V_c = \frac{5,32 \times (4,27 \times 10^{-7})^{0,277}}{0,0094^{0,5} \left(\frac{6 \times 10^{-7} \times 1000}{0,001} \right)^{0,723}} = 1,37 \text{ m/s} = 4,49 \text{ ft/s}$$

Con este valor se halla la Velocidad Mínima de Transporte para cerrar el tanteo haciendo uso de la ecuación (14).

$$V_{mt} = V_c + F_{43} \quad (14)$$

$$V_{mt} = 1,37 + 0,6 = 1,97 \text{ m/s} = 6,46 \text{ ft/s}$$

El tanteo se continúa hasta que la velocidad lineal sea ligeramente mayor o igual que la velocidad mínima de transporte; así, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla A.4. Resultados del Tanteo para Lechada Diluida en Flujo Homogéneo

<i>D</i> (in)	<i>V</i> (ft/s)	<i>Re</i>	<i>f</i>	<i>V_c</i> (ft/s)	<i>V_{mt}</i> (ft/s)
110,24	0,01	4557	0,0094	4,49	6,46
70,87	0,01	7074	0,0085	4,72	6,69
31,50	0,07	15915	0,0065	5,38	7,35
2,76	8,53	181891	0,0050	6,14	8,10

La velocidad crítica de sedimentación para lechada diluida Newtoniana en flujo homogéneo es de 6,14 ft/s con un diámetro de 2,8 pulgadas. Por último, para la lechada acuosa en flujo heterogéneo se tiene que realizar los cálculos en base al diámetro de la partícula de diámetro promedio (4×10^{-6} m.), con este valor se obtiene un Reynolds de $7,59 \times 10^{-5}$; mediante la siguiente ecuación se obtiene el coeficiente de arrastre, debido a que con la figura no es posible apreciarlo cuantitativamente:

$$C_d = \frac{24}{Re} = \frac{24}{7,59 \times 10^{-5}} = 316210,2$$

Con este valor y haciendo uso de la ecuación 13, se obtiene las velocidades para este caso:

$$V_c = 6,33 \left[\frac{\lambda \times D \times g (Sp - 1)}{\sqrt{C_d}} \right]^{-0,5} \quad (13)$$

$$0,05 \leq \lambda \leq 0,5$$

$$V_c = 6,33 \left[\frac{0,04 \times 0,09 \times 9,81 \times (5,18 - 1)}{\sqrt{316210,2}} \right]^{0,5} = 0,075 \text{ m/s} = 0,25 \text{ ft/s}$$

$$V_{mt} = 0,075 + 0,6 = 0,67 \text{ m/s} = 2,2 \text{ ft/s}$$

Tabla A.5. Resultados para la lechada en Flujo Heterogéneo

D (in)	V (ft/s)	V _c (ft/s)	V _{mt} (ft/s)
3,54	5,18	0,26	2,20

Tabla A6. Resultado de Diámetro y Velocidades en la Tubería

D (in)	V _c (ft/s)	V _{mt} (ft/s)
2,83	6,14	8,10

A.2. MODELO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA BOMBA PARA TRANSPORTAR LOS LODOS DEL SNEA HACIA LOS REACTORES DEL FOR-1

Para el dimensionamiento preliminar de la bomba se procedió a usar la Norma PDVSA N° MDP-02-FF-03, correspondiente al manual de Diseño de Proceso para Flujo de Fluidos: “Flujo en Fase Líquida” y la Norma PDVSA N° MDP-02-P-06 correspondiente al Manual de Diseño de Proceso para Bombas: “Cálculos en Servicio de Bombeo”. Esta norma establece los cálculos básicos para dimensionar la bomba que será la encargada de transferir los lodos desde SNEA hasta el FOR-1. La especificación de la bomba según los estándares de PDVSA son los siguientes:

Para realizar el dimensionamiento preliminar de la bomba se fijó un caudal para de 150gpm, un diámetro de 3 pulgadas, una velocidad de 6,9 pie/s y una longitud de tubería aproximada de 276 pies. Haciendo uso de ecuación 15, y siguiendo el isométrico mostrado en la Figura 4.7.2., se obtuvieron los siguientes valores:

$$P_{succion} = P_{Recipiente} - \Delta P_{Recipiente-Bomba} \quad (15)$$

$$P_{succion} = 101,325 - 6,51 = 94,82kPa = 13,75psi$$

Para el cálculo del cabezal neto de succión positiva disponible se considera la presión de vapor del agua a 27 °C y la ecuación 16:

$$NPSH_d = \frac{F_3(P_{succion} - P_v) \times gc}{\rho \times g} \quad (16)$$

$$NPSH_d = \frac{1 \times (94,82 - 3,57) \times 1000}{1088 \times 9 \times 81} = 8,55m = 28,05ft$$

Las pérdidas por fricción se calcularon mediante la ecuación 17, así como sigue:

$$\Delta P_f = \frac{F_6 \times 4 \times L \times \rho \times V^2}{2D} \quad (17)$$

$$\Delta P_f = \frac{1 \times 10^{-3} \times 4 \times 84 \times 0,0056 \times 1088 \times 2,1^2}{2 \times 0,0762} = 101kPa = 14,65psi$$

Las pérdidas por elevación en la tubería se hallaron mediante la ecuación 18:

$$\Delta P_e = F_{10} \times \rho (z_2 - z_1) \quad (18)$$

$$\Delta P_e = 9,81 \times 10^{-3} \times 1088 \times 2 = 21,35kPa = 3,1psi$$

Las pérdidas debido a los codos, considerando un coeficiente de resistencia $K = 0,8$ y haciendo uso de la ecuación 19, sabiendo que para el arreglo son necesarios 8 codos de 90°; se tiene:

$$\Delta P_a = F_{11} \times K \times \rho \times V^2 \quad (19)$$

$$\Delta P_a = 5 \times 10^{-4} \times 0,8 \times 1088 \times 2,1^2 = 1,875 \times 8 = 14,99kPa = 2,17psi$$

Las pérdidas debido a las "T" se calculan igualmente haciendo uso de la ecuación 19, considerando un coeficiente de resistencia $K = 0,9$ y sabiendo que son necesarias 5 "T" en el tramo de tubería para la nueva conexión, se obtiene lo siguiente:

$$\Delta P_a = 5 \times 10^{-4} \times 0,9 \times 1088 \times 2,1^2 = 2,1076 \times 5 = 10,54kPa = 1,53psi$$

Para las pérdidas debido a las válvulas se tomó un valor de $K = 0,15$ y considerando que el arreglo contempla 5 válvulas de compuerta y 2 válvulas check, se tiene lo siguiente:

$$\Delta P_a = 5 \times 10^{-4} \times 0,15 \times 1088 \times 2,1^2 = 0,3513 \times 7 = 2,46 kPa = 0,29 psi$$

Finalmente se consideran 10 bridas en el arreglo cuyo cálculo es realizado con la ecuación 19, con un coeficiente de resistencia de 0,9, así como sigue:

$$\Delta P_a = 5 \times 10^{-4} \times 0,9 \times 1088 \times 2,1^2 = 2,1076 \times 10 = 21,08 kPa = 3,06 psi$$

El estimado de las pérdidas totales a lo largo de la tubería corresponde a la suma de cada una de las pérdidas parciales calculadas anteriormente como se muestra a continuación:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_f + \Delta P_e + \Delta P_a \quad (20)$$

$$\Delta P_{total} = (101 + 21,35 + 14,99 + 10,54 + 2,46 + 21,08) kPa = 171,42 kPa = 24,86 psi$$

Luego haciendo uso de las pérdidas de fricción totales a lo largo de la tubería se calculó la presión de descarga, haciendo uso de la ecuación 21:

$$P_{descarga} = P_{recipiente} + \Delta P_{total} \quad (21)$$

$$P_{descarga} = 101,325 + 171,42 = 272,74 kPa = 39,56 psi$$

Para el cabezal total desarrollado por la bomba expresado en metros se obtuvo de la siguiente forma:

$$H = \frac{F_3 (P_{descarga} - P_{sección}) gc}{\rho \times g} \quad (22)$$

$$H = \frac{1 \times (272,74 - 94,82) \times 1000}{1088 \times 9 \times 81} = 16,67 m = 54,69 ft$$

Para el cálculo de la Presión máxima de descarga, se toma como un 120% de la normal y corresponde a la condición de cero flujo (shut off).

$$P_{descarga\ máxima} = P_{recipiente} + 1,2 (P_{descarga} - P_{succión}) \quad (23)$$

$$P_{descarga\ maxima} = 94,82 + 1,2 \times (274,75 - 94,82) = 308,32kPa = 44,72psi$$

Para el cálculo de la potencia requerida por la bomba se usó la ecuación 24:

$$P = \frac{Q(P_{descarga} - P_{succión})}{F_6 \times Ef} \quad (24)$$

$$P = \frac{10 \times (272,74 - 94,82)}{1000 \times 0,75} = 2,24kW = 3,01HP$$

Para esto se estimaron las pérdidas a lo largo del nuevo tramo de tubería (aproximadamente 276 ft.) tanto por fricción como las pérdidas debidas a los accesorios involucrados en la misma, la presión de succión y descarga, el NPSH disponible (Cabezal Neto de Succión Positiva), el Cabezal Neto desarrollado por la bomba y la potencia de la misma. Es importante destacar que todos los cálculos respectivos para el diseño preliminar de las nuevas bombas sumergibles están referenciados a la ruta que sigue el isométrico solicitado a Ingeniería de Planta como se puede ver a continuación:

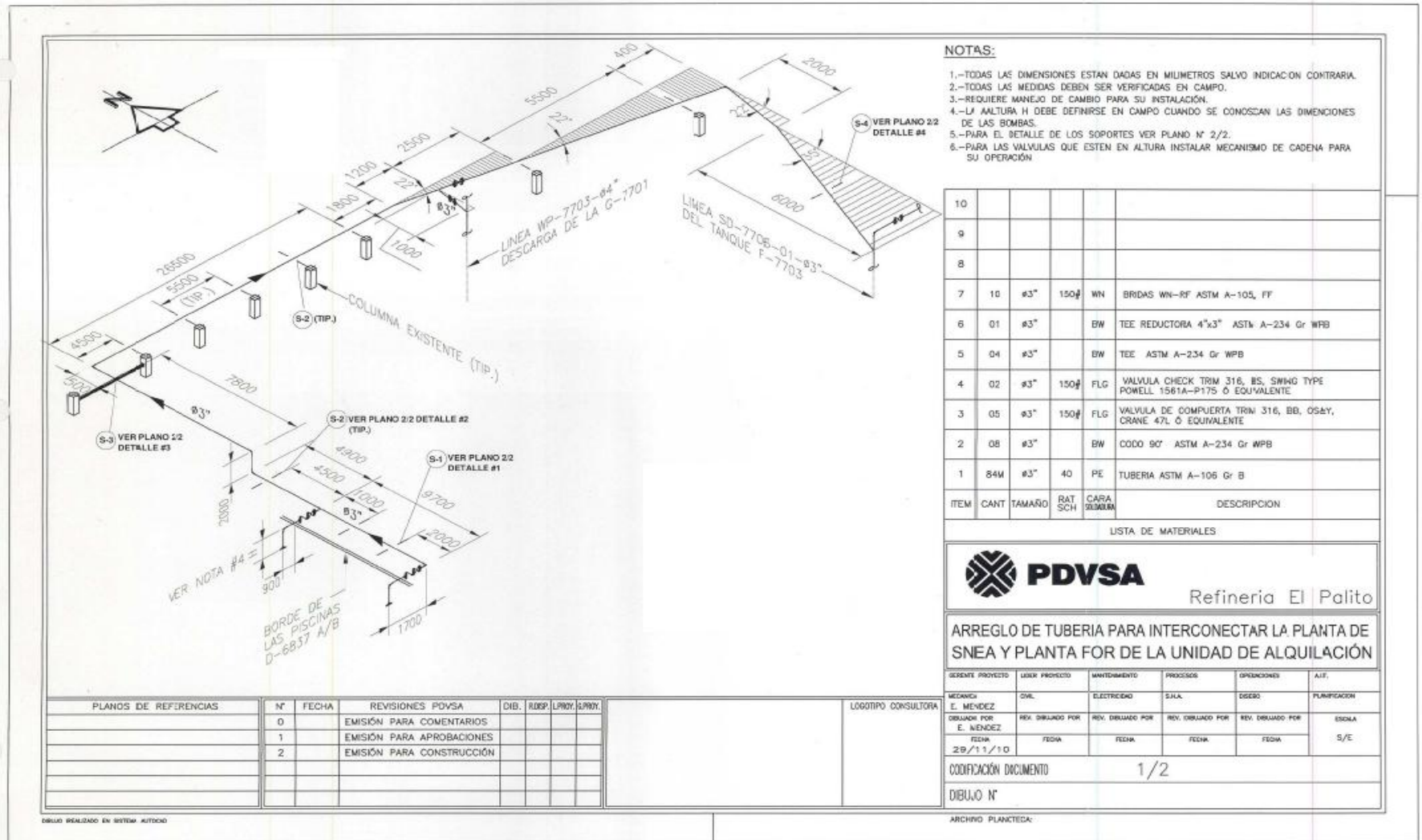


Figura A5. Isométrico para la interconexión de SNEA con la planta de pre-tratamiento de aguas del FOR

Tabla A7. Resultados del dimensionamiento preliminar de la bomba

Características de la Bomba	
Psucción (psi)	13,75
NPSHd (ft)	28,05
Cabezal Total (ft)	54,69
Pdescarga (psi)	39,56
Potencia (HP)	3

Apéndice B

INFORMACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Tabla N° 7. Característica de los polímeros suministrados.

Polímero	Descripción	Estado	Proveedor
Lípesa 1538	Deshidratación mecánica de lodos orgánicos	Sólido	Lípesa
Lípesa 1538	Deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales	Sólido	Lípesa
Lípesa 1543	Deshidratación de lodos de perforación y clarificación de aguas	Líquido	Lípesa
Lípesa 1544	Deshidratación de lodos de perforación y clarificación de aguas	Líquido	Lípesa
Novus CE2666	Floculante	Líquido	GE BETZ
Novus CE2680	Auxiliar de retención/drenaje y clarificación	Líquido	GE BETZ
Polyfloc CE1154	Deshidratador de lodos	Líquido	GE BETZ

Fuente: Los proveedores (Lípesa, GE BETZ)

Tabla N° 8. Precio de los polímeros, volumen y costo total para la preparación de cada jarra.

Polímero	Costo (Bs./Kg.)	Volumen usado de la solución preparada (mL)	Costo por cada prueba (Bs.)
Lipesa 1538	-	6,73	-
Lipesa 1538	35,0	6,74	1,18
Lipesa 1543	34,0	5,55	1,13
Lipesa 1544	25,0	5,46	0,82
Novus CE2666	39,6	1,68	1,33
Novus CE2680	47,5	1,65	1,57
Polyfloc CE1154	30,8	3,4	1,04

Fuente: Los proveedores (Lípesa; GE BETZ)

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE JARRAS

En primer lugar se determinó la dosificación adecuada de cada polímero, para esto se hizo lo siguiente:

-
- ✓ Tomando un litro del coloide en un beakers, se fue agregando pequeñas porciones del polímero y midiendo de forma continua los cambios de turbidez en función del volumen de polímero agregado. Esto se hizo para los siete polímeros empleados en este caso.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE LOS POLÍMEROS EN LA FLOCULACIÓN DEL LODO.

- Se llenaron los beakers del agitador mecánico (ver figura N° 1) con el efluente a analizar, uno de los beakers se consideró de control, mientras los demás ajustaron a las condiciones deseadas.
- Se adicionó el coagulante a cada contenedor y mezclando aproximadamente a 100 rpm durante un minuto.
- Se redujo la velocidad de mezclado a 25 o 35 rpm y continuo el proceso de mezclado por 15 o 20 min. – Se apagó el equipo de mezclado y se esperó que sedimente entre 20 y 45 minutos.
- Se filtró el contenido de los beakers y se hicieron las mediciones correspondientes (Turbidez, Velocidad de sedimentación, Tamaño de floculo y Altura de líquido) al precipitado y al sobrenadante.

Apéndice C

A continuación se presenta el apéndice B, en cual se muestra el formato del cuestionario aplicado a los 10 trabajadores de la refinería El Palito.

MODELO DE CUESTIONARIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Empresa: _____ Establecimiento o centro de trabajo:

Área, instalación o puesto de trabajo: _____ Fecha _____

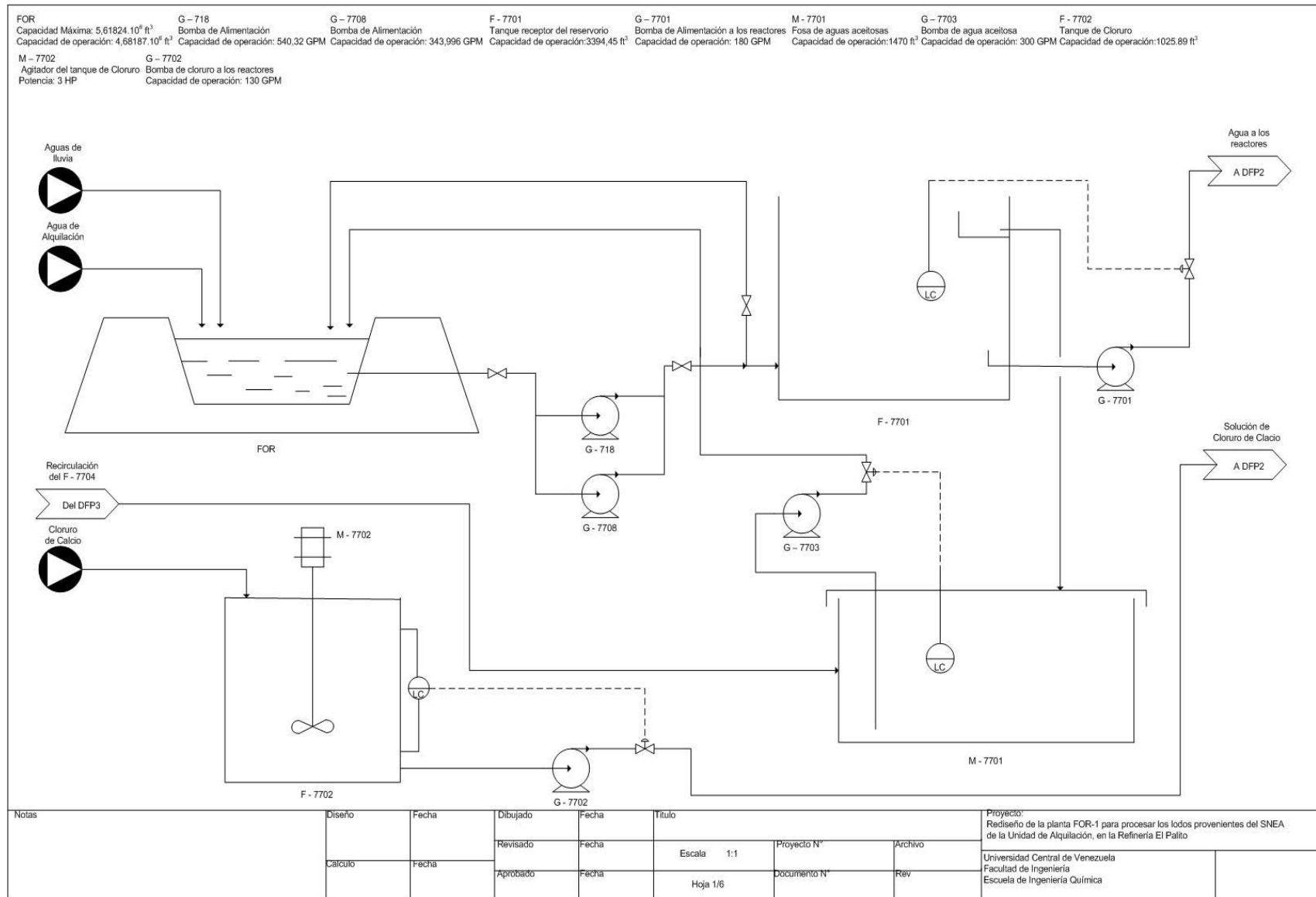
Nº	Riesgos Identificados.	0	1	2	3
1	Caída de personas a distinto nivel.				
2	Caída de personas a un mismo nivel.				
3	Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.				
4	Caída de objetos en manipulación.				
5	Caída de objetos desprendidos.				
6	Pisadas sobre objetos.				
7	Choque contra objetos inmóviles.				
8	Golpe o contacto con objetos móviles.				
9	Golpes o cortaduras por objetos o herramientas.				
10	Proyección de fragmentos o partículas.				
11	Atrapamiento por o entre objetos.				
12	Atrapamiento por vuelco de máquina o vehículo.				
13	Sobreesfuerzo físico o mental.				
14	Estrés térmico.				
15	Contacto térmicos.				
16	Contacto eléctrico.				
17	Inhalación o ingestión de sustancias nocivas.				
18	Contacto con sustancias nocivas				
19	Exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes.				
20	Explosiones.				
21	Incendio.				
22	Manipulación y contacto con organismos vivos				
23	Atropellos, golpes o choques contra o con vehículos.				
24	Exposición a agentes físicos.				
25	Exposición agentes biológicos.				

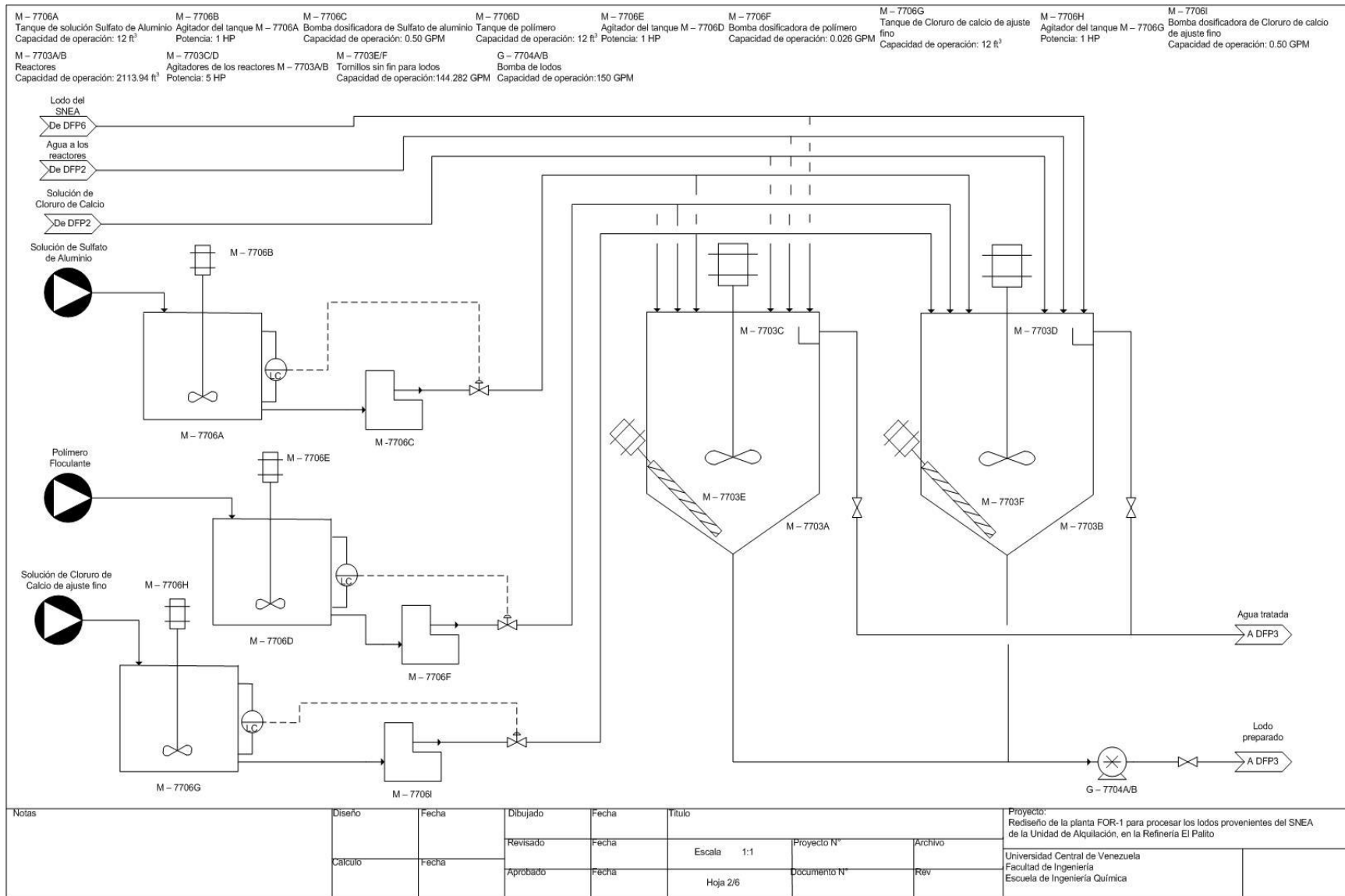
0 No hay riesgo. 1 Riesgo pequeño. 2 Riesgo mediano. 3 Riesgo grande

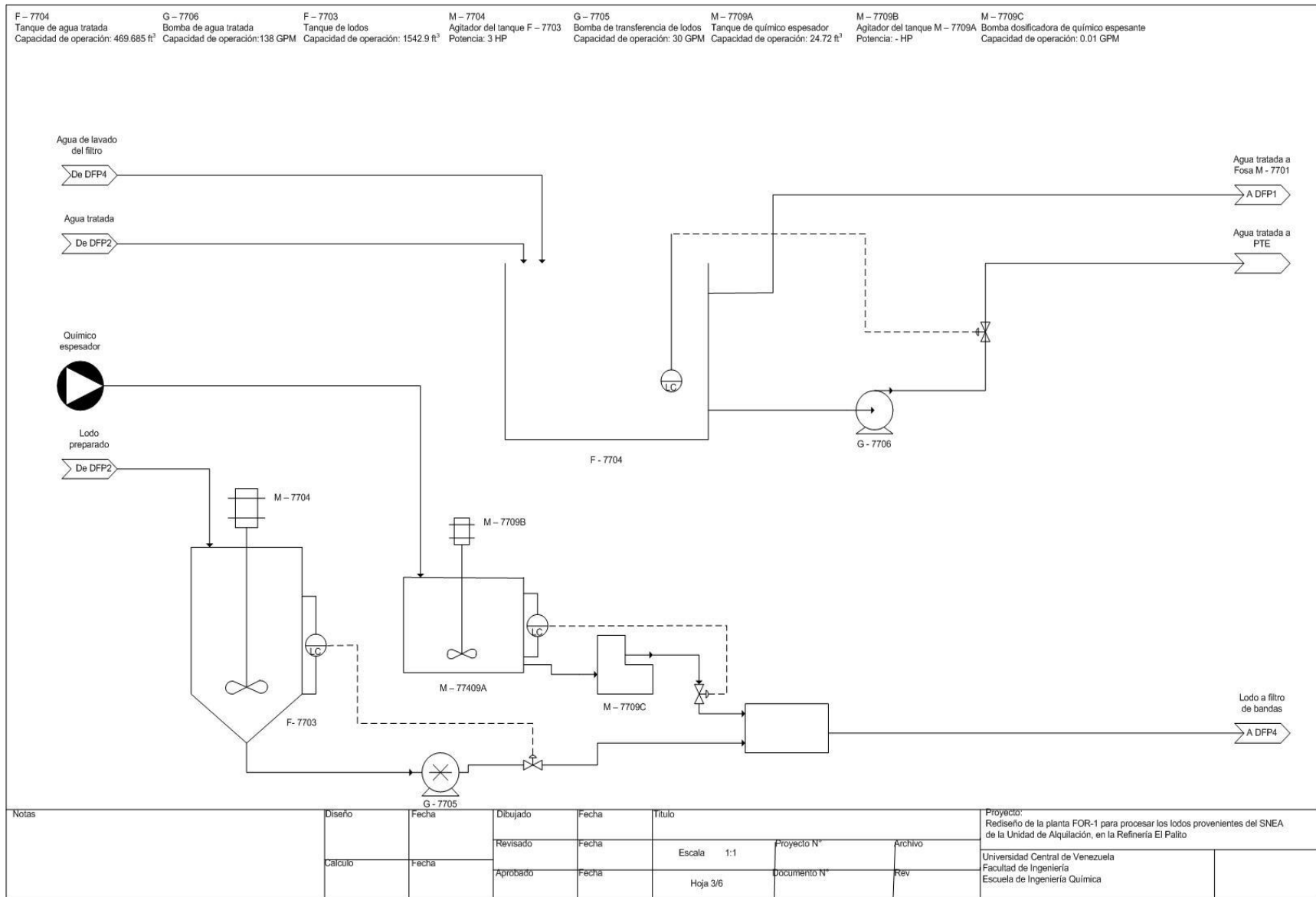
Apéndice D

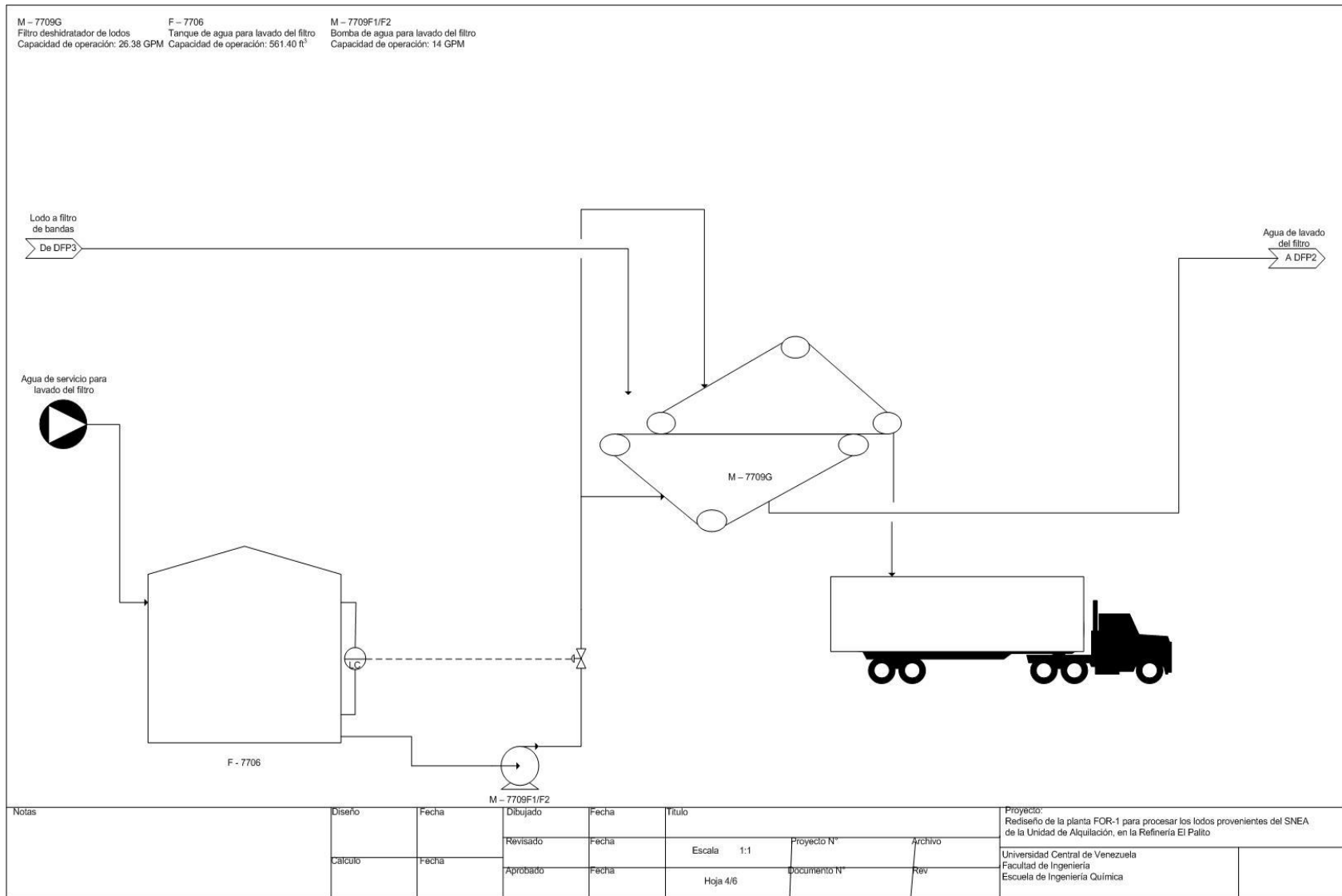
A continuación se presentan los diagramas de flujos de procesos y los diagramas de tuberías e instrumentación, en los cuales se refleja el esquema de funcionamiento que se propone para las plantas del SNEA y el FOR-1, a fin de que puedan procesar los lodos del SNEA y del FOR-1, así como también de las aguas del reservorio FOR. También se presenta los diagramas de tuberías e instrumentación de la planta FOR-1 ya rediseñada.

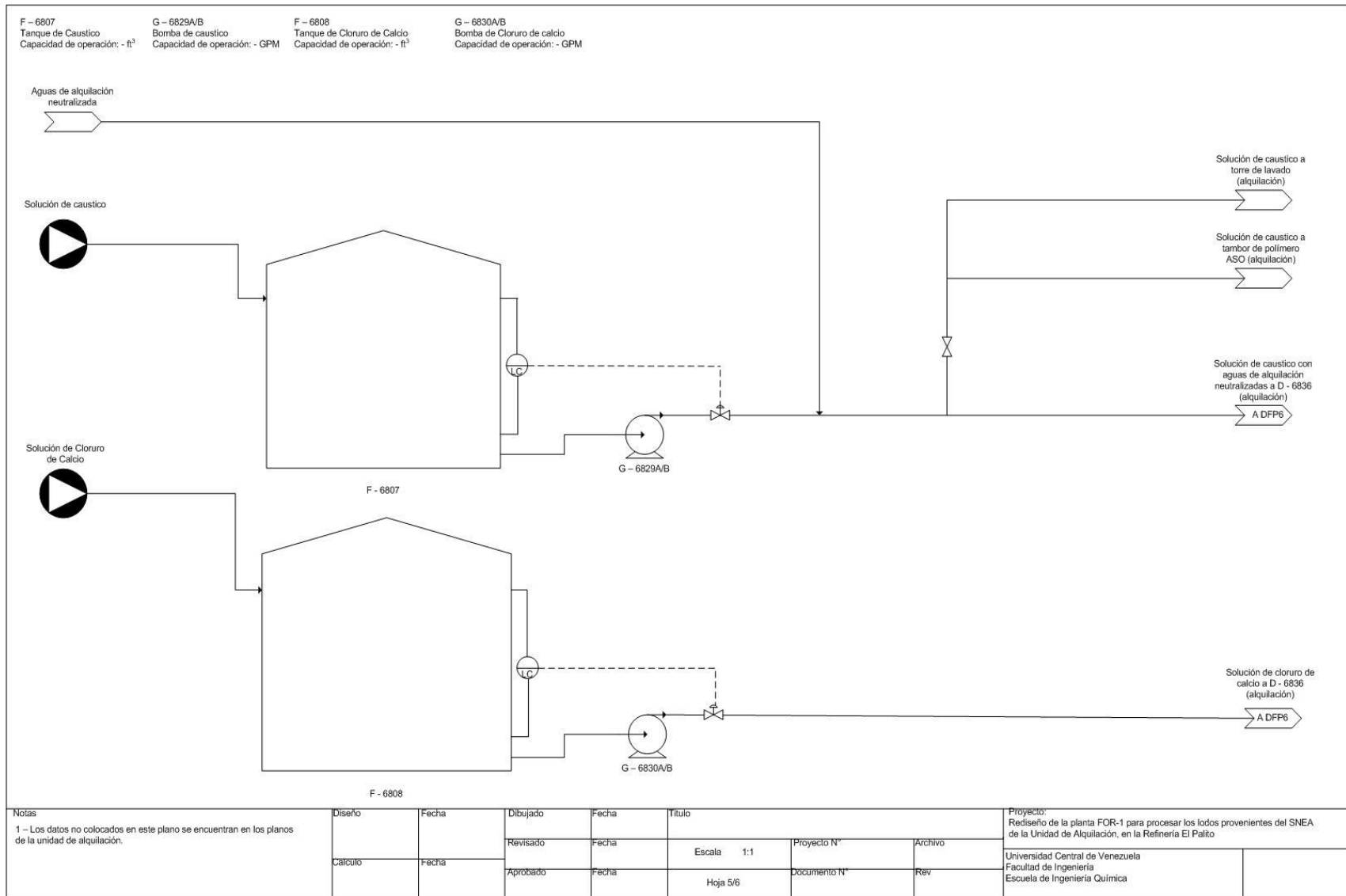
Diagramas de flujo de procesos (DFP)

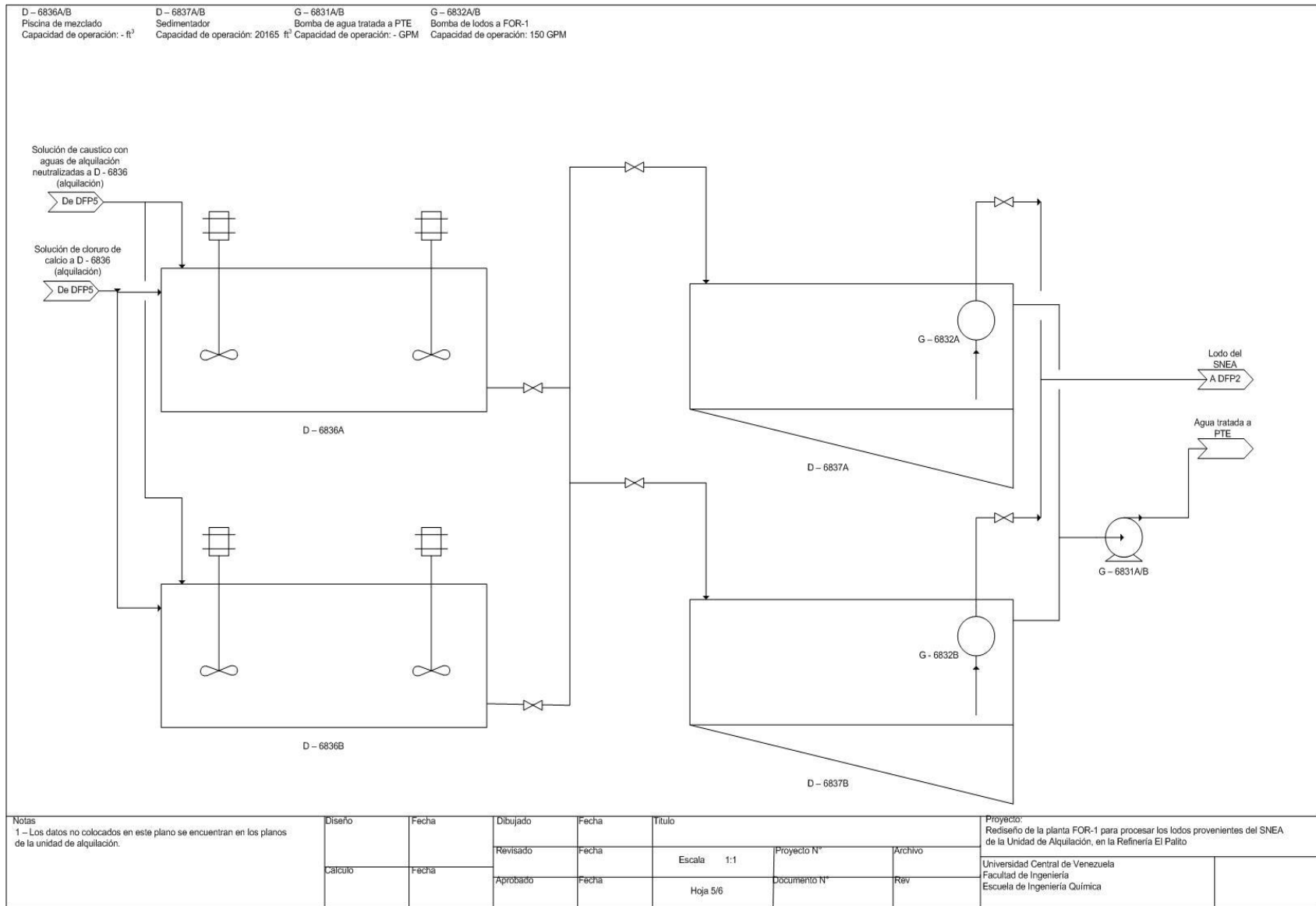




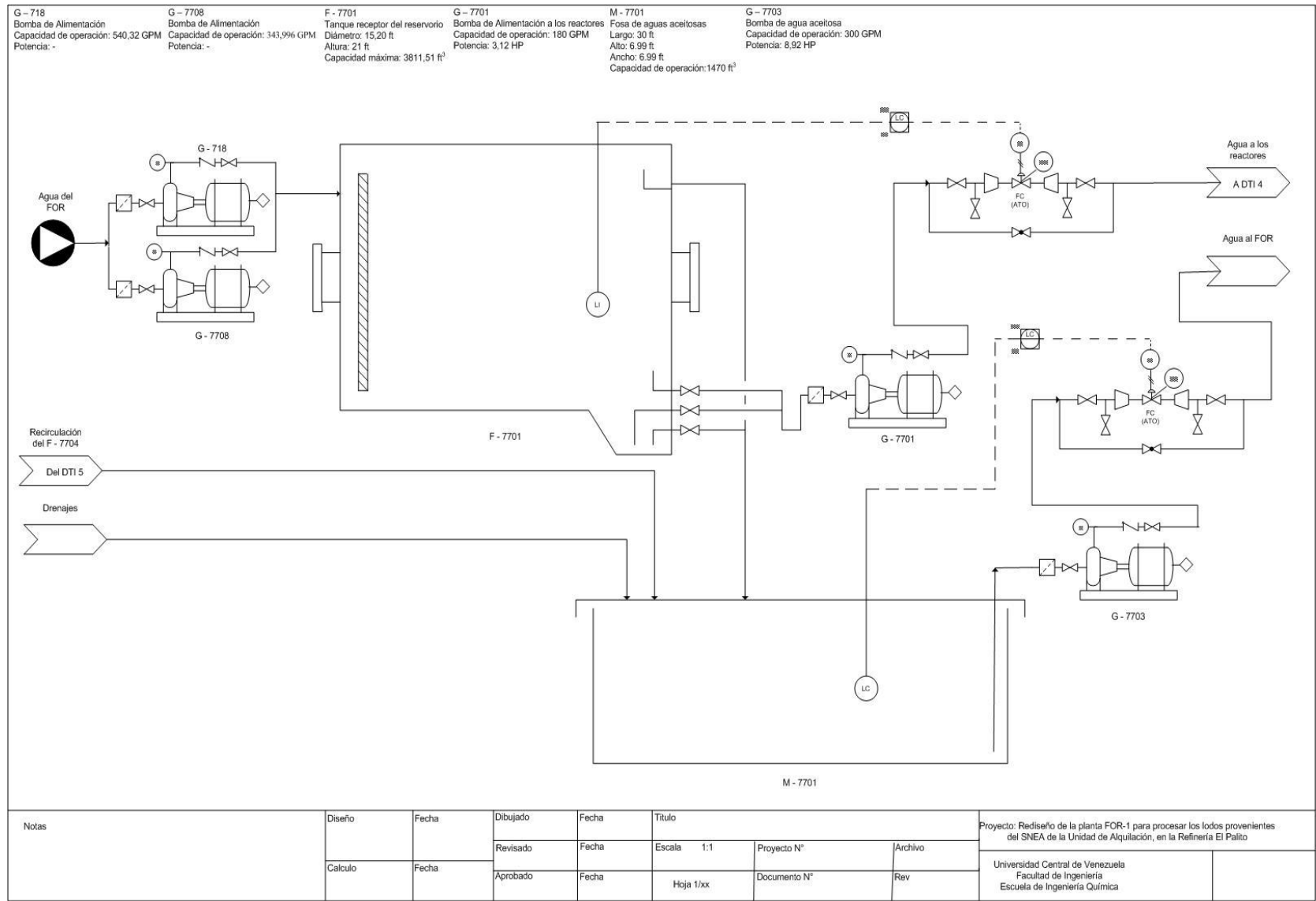








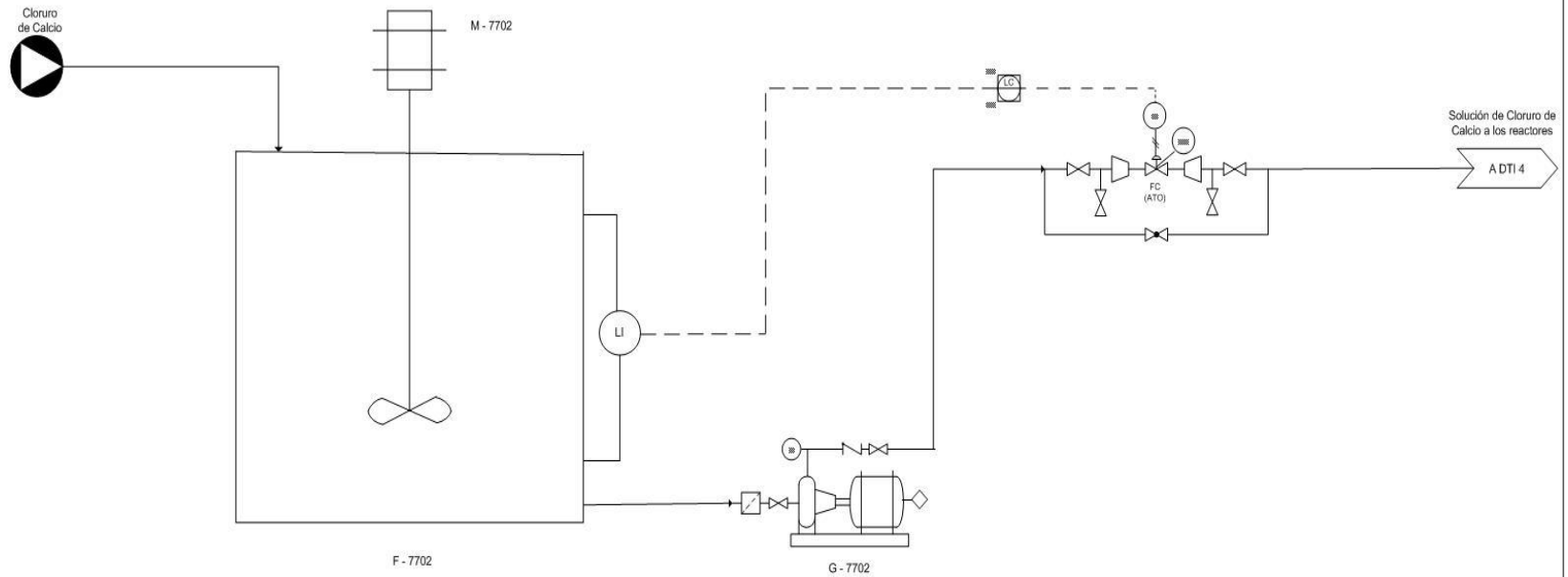
Diagramas de tuberías e instrumentación (DTI)



F - 7702
Tanque de Cloruro
Diámetro: 10.89 ft
Altura: 12.33 ft
Capacidad máxima: 1128.66 ft³

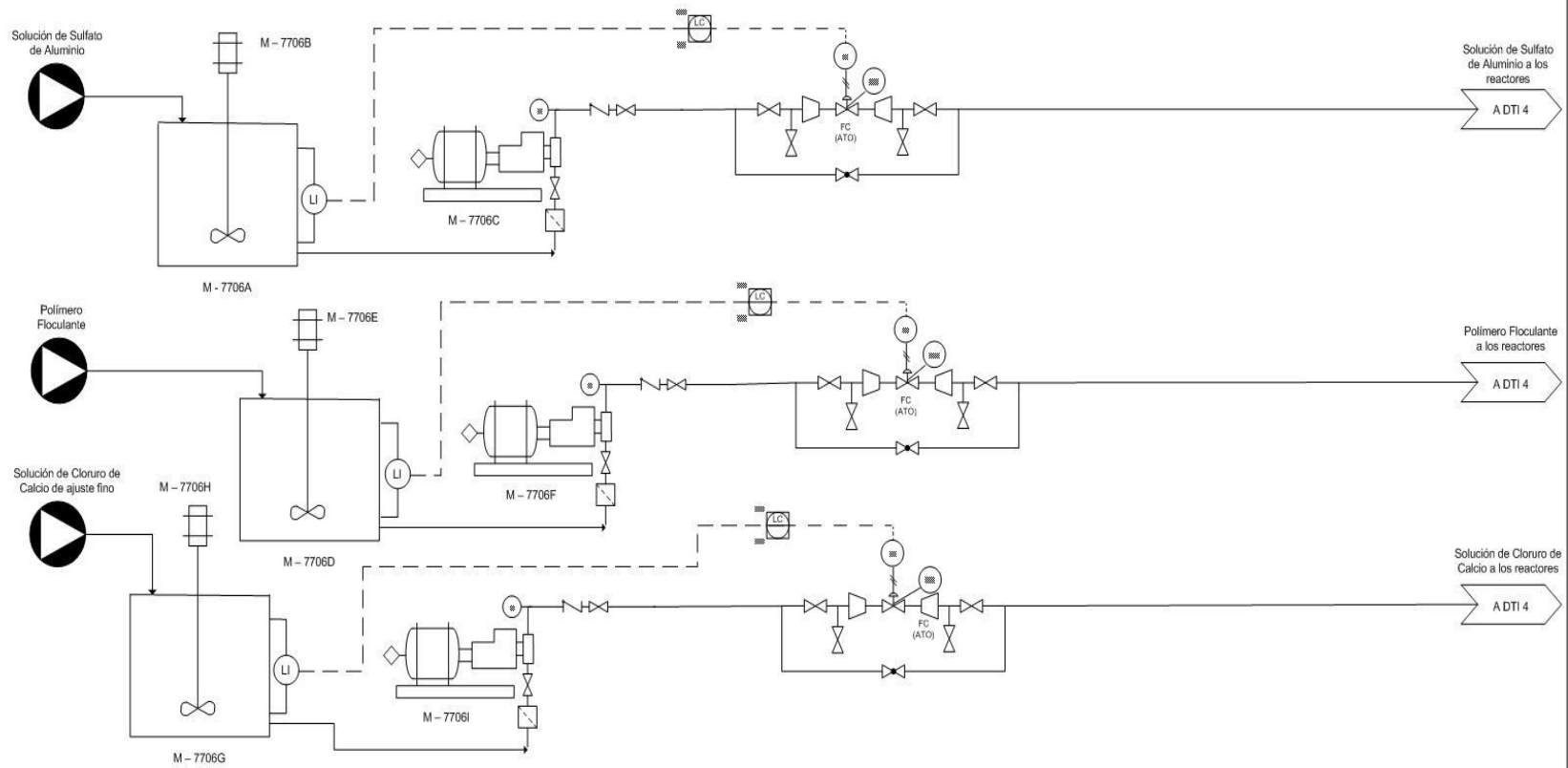
M - 7702
Agitador del tanque de Cloruro
Potencia: 3 HP
Impulsor: 2.89 ft

G - 7702
Bomba de cloruro a los reactores
Capacidad de operación: 130 GPM
Potencia: 5.73 HP

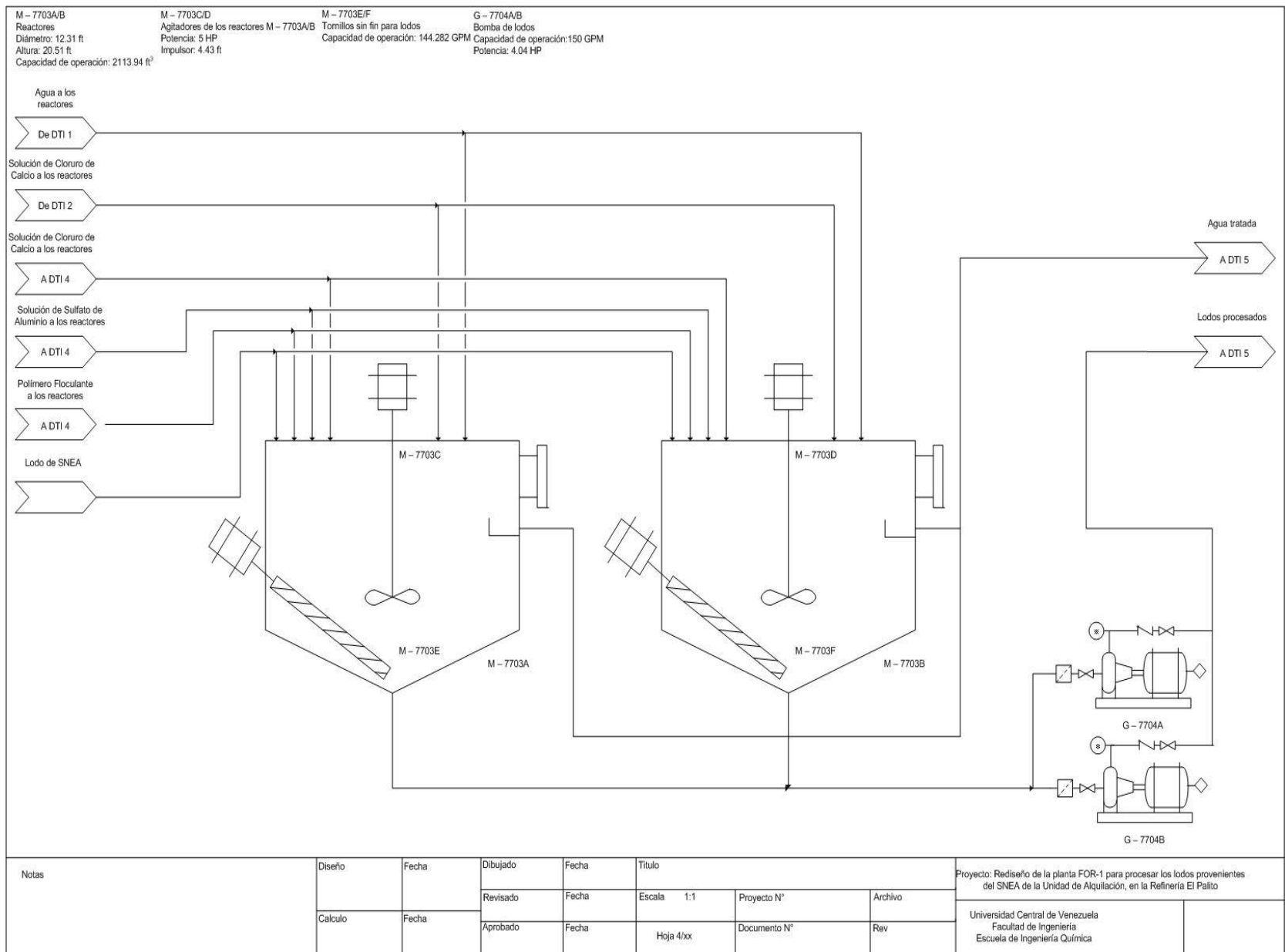


Notas	Diseño	Fecha	Dibujado	Fecha	Titulo			Proyecto: Rediseño de la planta FOR-1 para procesar los lodos provenientes del SNEA de la Unidad de Alquilación, en la Refinería El Pailto
			Revisado	Fecha	Escala 1:1	Proyecto N°	Archivo	
	Calculo	Fecha	Aprobado	Fecha	Hoja 2/xx	Documento N°	Rev	Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química

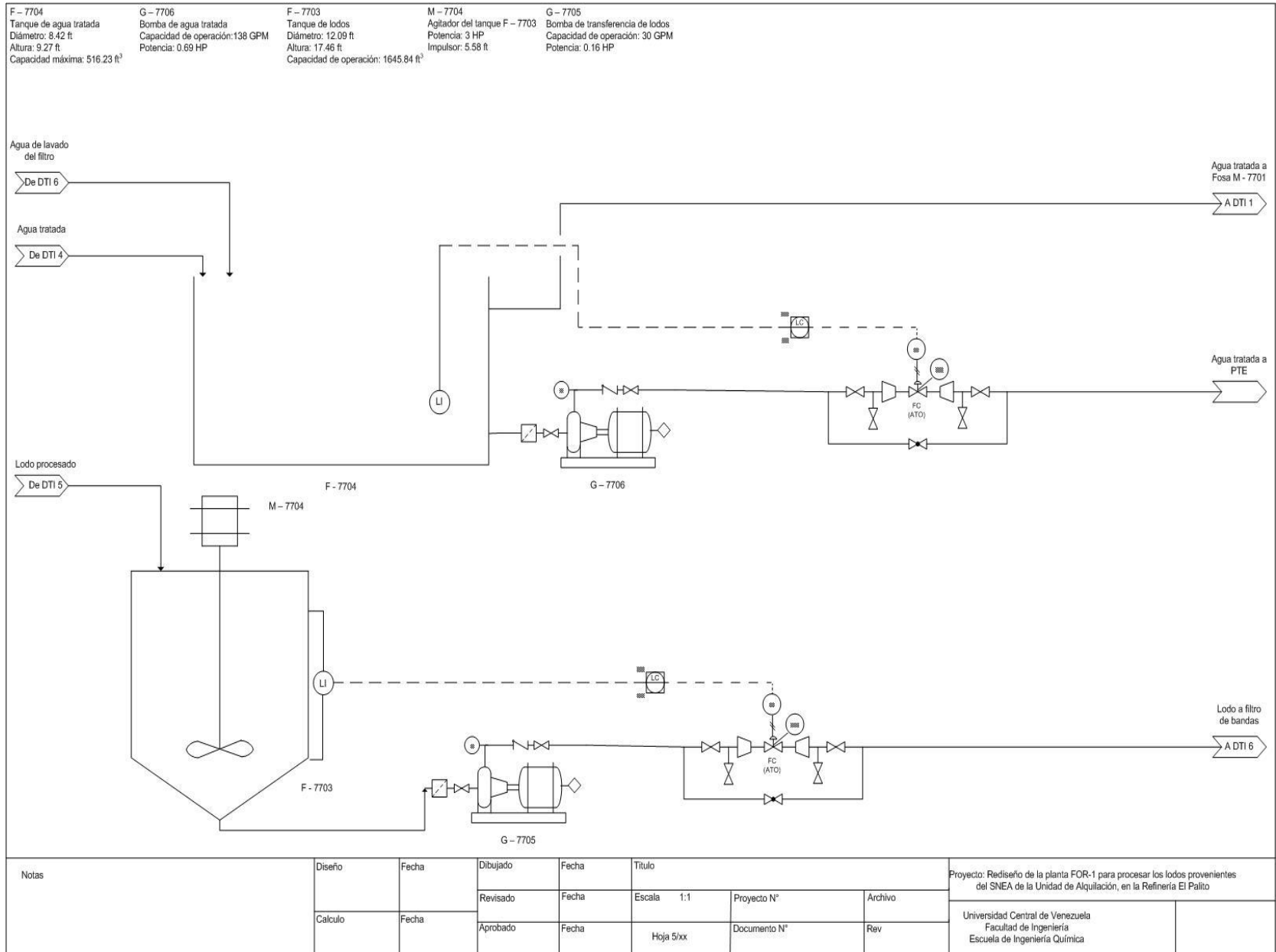
M - 7706A Tanque de solución Sulfato de Aluminio Diámetro: 2.47 ft Altura: 2.95 ft Capacidad máxima: 13.37 ft ³	M - 7706B Agitador del tanque M - 7706A Potencia: 1 HP Impulsor: 1.08 ft	M - 7706C Bomba dosificadora de Sulfato de aluminio Capacidad de operación: 0.50 GPM Potencia: 0.0025 HP	M - 7706D Tanque de polímero Diámetro: 3.94 ft Altura: 4.43 ft Capacidad máxima: 26.71 ft ³	M - 7706E Agitador del tanque M - 7706D Potencia: 1 HP Impulsor: 0.59 ft	M - 7706F Bomba dosificadora de polímero Capacidad de operación: 0.026 GPM Potencia: 8.10*5 HP	M - 7706G Tanque de Cloruro de calcio de ajuste fino Diámetro: 4.92 ft Altura: 7.05 ft Capacidad máxima: 133.56 ft ³	M - 7706H Agitador del tanque M - 7706G Potencia: 1 HP Impulsor: 1.18 ft	M - 7706I Bomba dosificadora de Cloruro de Calcio de ajuste fino Capacidad de operación: 0.50 GPM Potencia: 0.0054 HP
--	---	---	--	---	---	---	---	--



Notas	Diseño	Fecha	Dibujado	Fecha	Titulo			Proyecto: Rediseño de la planta FOR-1 para procesar los lodos provenientes del SNEA de la Unidad de Alquilación, en la Refinería El Palito
			Revisado	Fecha	Escala 1:1	Proyecto N°	Archivo	
	Calculo	Fecha	Aprobado	Fecha	Hoja 3/xx	Documento N°	Rev	
								Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química

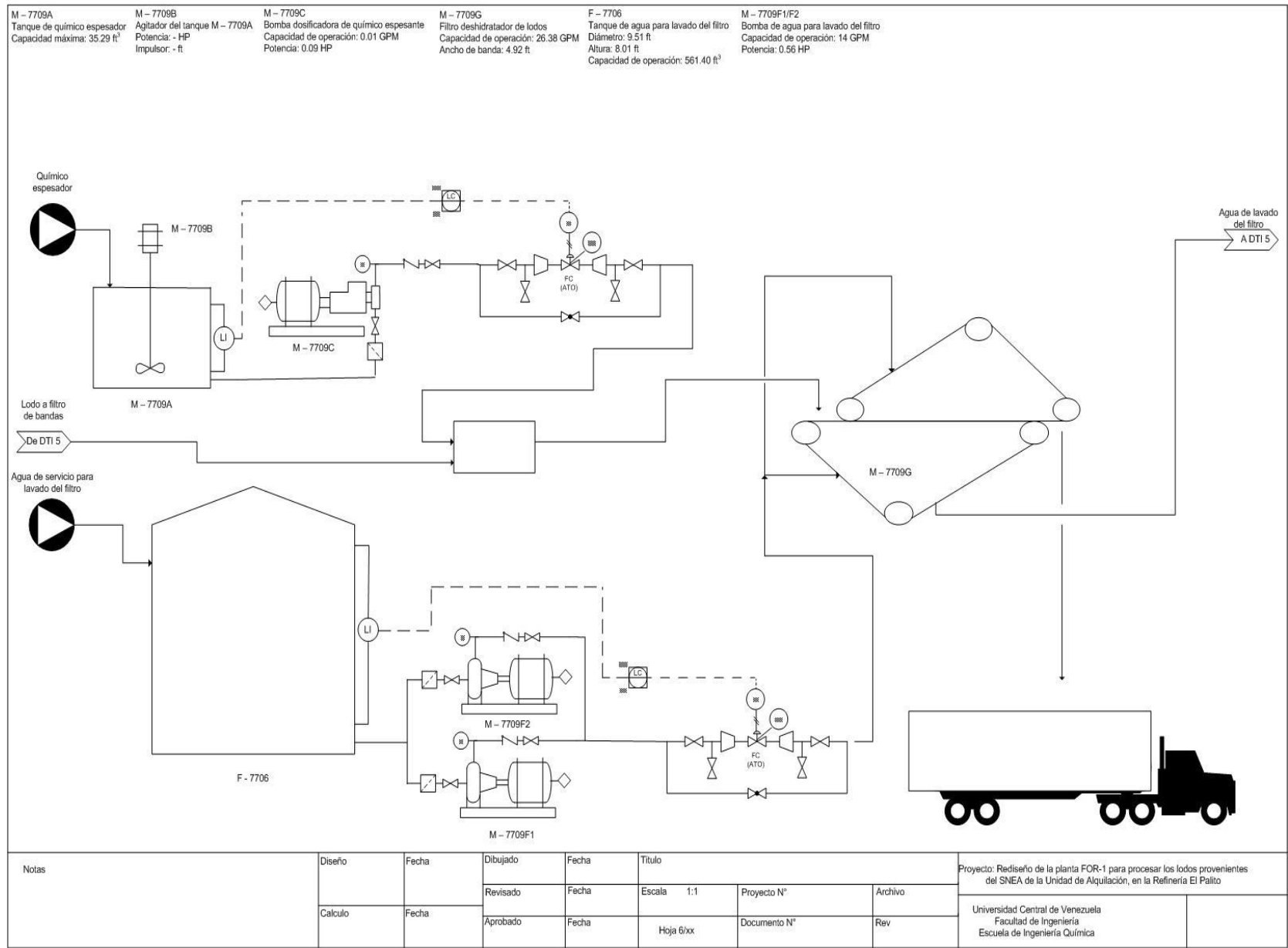


Notas	Diseño	Fecha	Dibujado	Fecha	Titulo			Proyecto: Rediseño de la planta FOR-1 para procesar los lodos provenientes del SNEA de la Unidad de Alquilación, en la Refinería El Palito Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química
			Revisado	Fecha	Escala 1:1	Proyecto N°	Archivo	
	Calculo	Fecha	Aprobado	Fecha	Hoja 4/xx	Documento N°	Rev	



Notas

Diseño	Fecha	Dibujado	Fecha	Título			Proyecto: Rediseño de la planta FOR-1 para procesar los lodos provenientes del SNEA de la Unidad de Alquilación, en la Refinería El Palto		
		Revisado	Fecha	Escala 1:1	Proyecto N°	Archivo			
	Calculo	Fecha	Aprobado	Fecha	Hoja 5/xx	Documento N°	Rev	Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química	



D.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES ÁCIDOS (SNEA)

El proceso de neutralización de las aguas ácidas de alquilación en el SNEA se inicia en las tanquillas de mezclado (D-6836 A/B) las cuales permiten mezclar los químicos necesarios con el agua acida de alquilación, estos pueden ser: cáustico gastado ($NaCl$), cloruro de calcio CaF_2 y en ocasiones cáustico fresco. La tanquilla está dividida a lo largo de 60 pies, para así formar dos tanquillas en paralelo. Estas se encuentran elevadas para que puedan ser drenadas por gravedad hacia la tanquillas sedimentadoras (D-6837 A/B).

Normalmente una de las tanquillas de sedimentadoras se encuentra fuera de servicio para poder remover los sólidos formados, en este momento la correspondiente tanquilla de mezclado también debe estar fuera de servicio. Es decir que la tanquilla de mezclado D-6836 A debe operar con la tanquilla de precipitación D-6837 A y la D-6836 B con la D-6837 B. Cada una de estas tanquilla de mezclado son suficientemente grandes como para manejar un batch de cáustico gastado del D-6824 o un batch del D-6822. Cada batch de cáustico gastado debe ir a una u otra mitad de las piscinas de mezclado, pero no ambos batch simultáneos, es decir, la capacidad de una mitad de la tanquillas de mezclado es para un solo batch de cáustico gastado.

La tanquilla de mezclado está cubierta por un techo de metal para evitar emanaciones de olores fuertes. Se dispone de una purga de nitrógeno hacia la tanquilla para prevenir la posibilidad de tener una atmósfera explosiva en el espacio que se tenga entre el techo y el nivel de líquido. Esto se logra manteniendo una pequeña presión positiva con la ayuda de dos reguladores de presión que se encuentran en el sistema de inyección y alivio de nitrógeno. Cuando se está adicionando el líquido alquilación a la tanquilla, la presión incrementa y la válvula de la línea de alivio se abre, por el contrario, cuando se drena la tanquilla, la presión disminuye se abre la válvula de

inyección de nitrógeno. Para que este sistema de control de presión opere correctamente, se debe mantener las tuberías de drenado sumergidas en el líquido de la tanquilla sedimentadora (D-6837 A/B), de lo contrario el consumo de nitrógeno será excesivo. Estas tanquillas cuentan con 4 equipos de agitación para mezclar los químicos, cada mitad de tanquilla consta de 2 de ellos. Los mezcladores operarán cuando halla Slurry en el lado correspondiente.

Cada una de las tanquillas D-6836A/B, posee dos líneas de drenado. Las líneas normales de drenado permiten enviar el efluente desde el fondo de cada tanquilla hasta su respectiva tanquilla de precipitación (D-6837A/B), el cual es controlado por una válvula de bloqueo ubicada en dicha línea. Las segundas líneas de drenajes toman efluente del tope de las tanquillas D-6836 A/B, esta es una línea de emergencia la cual es usada para evitar el rebose de las D-6836 A/B, en caso de que exista la necesidad de enviar cáustico gastado hacia las D-6836 A/B, encontrándose ésta llena todavía. No hay válvula en esta línea con la finalidad de que la misma siempre esté abierta. En caso de que exista alto contenido de fluoruros en la tanquilla D-6829, estos efluentes deben ser enviados a la D-6836 A/B mediante la bomba G-6813.

La tanquilla sedimentadora de lodo ésta dividida en dos fosas idénticas D-6837A/B, una de estas fosas estará en servicio, mientras que la otra se encontrará en Stand-by o en su defecto se le estará vaciando el lodo. La tanquilla que se encuentre en Stand-by puede ser utilizada para incrementar el procesamiento de cáustico gastado en caso de que exista una emergencia en planta, (incremento de alivios ácidos hacia el D-6824 por descontrol operacional), que implique el reemplazo de varias cargas de NaOH durante un corto lapso de tiempo.

Típicamente, el único paso que requieren las tanquillas de precipitación (D-6837A/B) es drenar el agua decantada. Un nivel mínimo de agua (aproximadamente 3 pies desde el tope de la pared) debe mantenerse en este recipiente. A este nivel, la línea de rebose de la piscina de mezclado se mantendrá sumergida para garantizar una presión positiva dentro de la tanquilla de mezclado.

Existen tres líneas de salida de la tanquilla de sedimentación, la más alta es la de exceso de flujo. Esta línea no posee válvula, la segunda es una línea de drenaje ubicada a media altura del extremo final. Si el agua es clara al nivel de esta línea, entonces puede ser usada para drenar el agua. La tercera línea de drenaje es una línea de elevación variable, esta línea puede ser usada en cualquier momento para drenar agua, sin embargo posee un dispositivo de conexión que requerirá mayor esfuerzo para que sea operado correctamente. Se debe manipular cuidadosamente el drenaje variable ya que se corre el riesgo de enviar lodo al sistema de drenajes de la refinería, incrementando así el contenido total de fluoruros en los efluentes hacia el mar. Este drenaje móvil es muy útil cuando la cantidad de lodo haya incrementado tanto que los drenajes laterales no permitan tener líquido libre de sólidos, o cuando exista la presencia de Aso en la superficie del líquido.

El lodo se irá precipitando gradualmente en el fondo de la tanquilla de precipitación. Cuando el nivel de lodo esté a una distancia de 3 pies del tope, debe ser removido. El contenido de agua en el lodo puede ser reducido al remover la mayor parte de agua de la superficie como sea posible, haciendo uso de la línea de drenaje variable, después de cierto tiempo se obtendrá más agua decantada del lodo.

El lodo luego es removido con un camión de vacío. La manguera de vacío se debe colocar cerca del fondo de la fosa en el punto más profundo. El lodo fluirá como un líquido y se desplazará al lado más hondo de la fosa. La mitad de cada tanquilla sedimentara debe contener aproximadamente 2000 barriles de lodo.

5.3 ANEXOS

A continuación se presentan los anexos de este trabajo especial de grado, información independiente al tomo y que se adjunta por conveniencia.

Anexo N° 1.

Imágenes de las pruebas de jarras para la selección del mejor polímetro floculante y su dosificación adecuada.

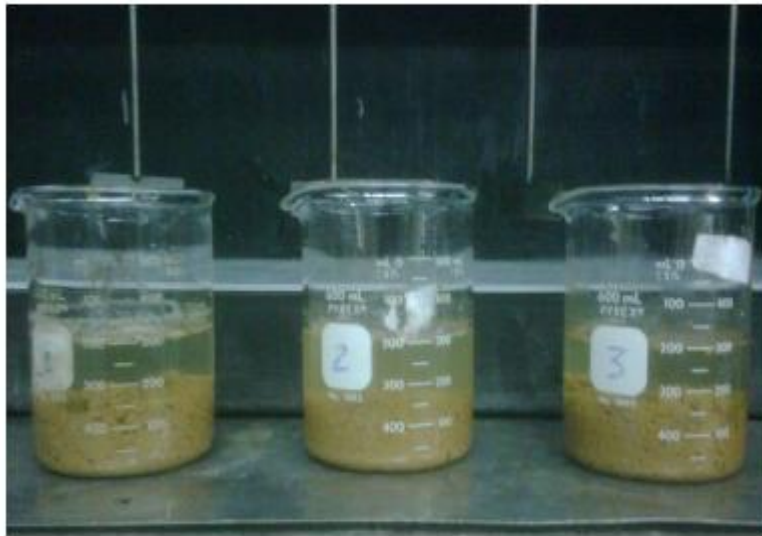


Figura B1. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímetro Lípessa 1563



Figura B2. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímetro N-2680



Figura B3. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Polyfloc CE1154.

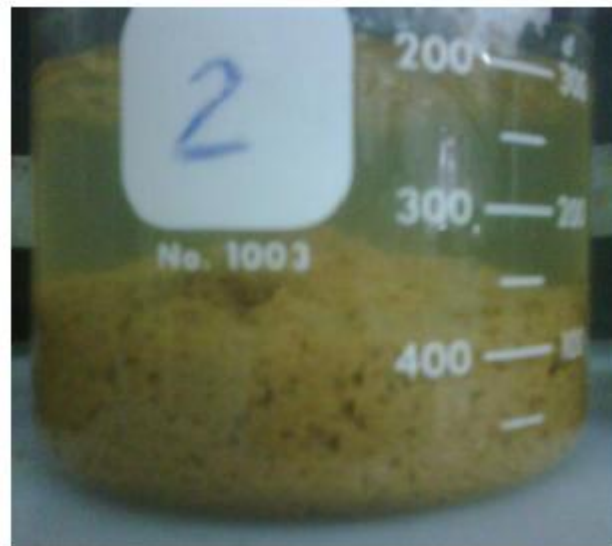


Figura B4. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Novus CE2666.



Figura B5. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1543



Figura B6. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípasa 1538



Figura B7. Proceso de floculación realizado bajo la acción del polímero Lípesa1544