



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, PROVENIENTES
DEL CAMPO AGUASAY EN EL ESTADO MONAGAS.**

REALIZADO POR:

CARRILLO PÉREZ JORGE ALEJANDRO

Trabajo especial de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO DE PETRÓLEO

Maturín, Junio de 2010



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, PROVENIENTES
DEL CAMPO AGUASAY EN EL ESTADO MONAGAS.**

CARRILLO PÉREZ JORGE ALEJANDRO

C.I.: 18.463.627

REVISADO POR:

**ING. MSC. Bello G. Noris I.
C.I.: 4714349
ASESOR ACADÉMICO**

**ING. Goncalvez Adriana
ASESOR INDUSTRIAL**

MATURÍN, JUNIO DE 2010

ACTA DE APROBACIÓN

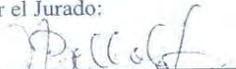


UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
Maturín / Monagas / Venezuela

ACTA N° 1229

En Maturín siendo las **4:00 p.m** del día **30 de Junio de 2010** reunidos en la Sala "Dr. Luis Manuel Peñalver", Campus Los Guaritos del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los profesores: **Ing. Noris Bello (Asesor Académico), Ing. Rubén Vega (Jurado), Ing. Jorge Guevara (Jurado), Ing. Adriana Góncalvez (Asesor Industrial)**. A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado para obtener el Título de **Ingeniero de Petróleo**, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, PROVENIENTES DEL CAMPO AGUASAY EN EL ESTADO MONAGAS**. Por el Br. **Jorge Alejandro Carrillo Pérez C.I. 18.463.627**. El jurado, luego de la discusión del mismo acordó calificar como Aprobado con la siguiente Mención: _____

Por el Jurado:


Prof. Ing. Noris Bello
C.I. 4.714.349
Asesor Académico


Prof. Ing. Rubén Vega
C.I. 10.100.632
Jurado


Prof. Ing. Jorge Guevara
C.I. 13.161.196
Jurado


Ing. Adriana Góncalvez
C.I. 12.644.462
Asesor Industrial

Por la comisión de Trabajos de Grado:
Reglamento de Trabajo de Grado
Artículo 16. Literal J.


Comisión Trabajo de Grado



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

RESOLUCIÓN

**DE ACUERDO AL ARTÍCULO N° 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO
DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE:**

**“LOS TRABAJOS DE GRADO SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE LA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS A
OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO
RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO
UNIVERSITARIO”**

DEDICATORIA

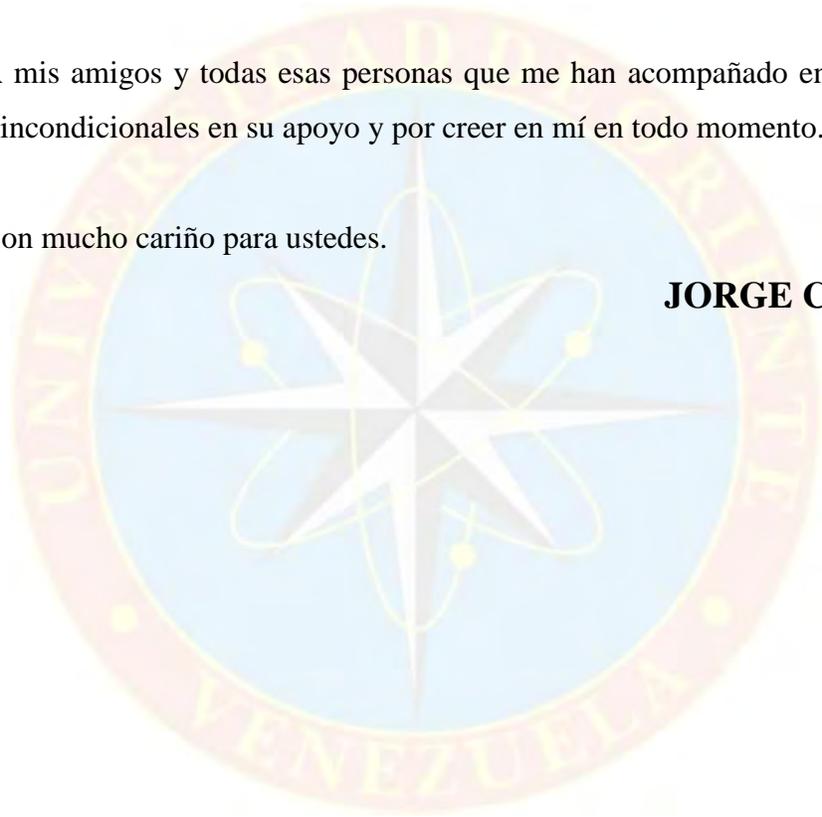
A DIOS, gracias a él he podido llegar hasta aquí.

A mi mama, papa y hermano, este logro es de ustedes también. No sé qué haría si no los tuviera conmigo. Los amo.

A mis amigos y todas esas personas que me han acompañado en este camino, por ser incondicionales en su apoyo y por creer en mí en todo momento.

Con mucho cariño para ustedes.

JORGE CARRILLO



AGRADECIMIENTO

A **Dios** y la **Virgen**, por protegerme siempre e iluminar mí camino en todo momento de mi vida.

A mi núcleo familiar que me ha apoyado, me ha aconsejado siempre que lo he necesitado y gracias a que quieren lo mejor para mi siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos, gracias **Papa, Mama, Hermano** y a mi **Abuela**.

A todos mis tíos y primos que siempre estuvieron, están conmigo y me han apoyado, aconsejado y brindado cariño a lo largo de mi vida.

A mi mejor amigo y compañero de escuela, liceo, universidad y si dios quiere de trabajo **Carlos Arzolay**, gracias por ser el amigo que siempre has sido, una persona incondicional, por haberme acompañado en lo malos momentos y aconsejarme cuando lo he necesitado. Además gracias por todo el apoyo a lo largo de nuestra carrera y compartir siempre los buenos momentos.

A Dionnys López, siempre estuviste allí conmigo apoyándome y dándome fuerzas en todo momento, sobre todo en esta última y definitiva etapa.

A mi asesor académico, **Prof. Noris Bello** por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, además de toda su asesoría y los conocimientos impartidos.

A los amigos que de alguna u otra manera me apoyaron durante mi carrera: Gracias **Carlos, Giordano, Vanessa, Charles, Mariela, Andrea, Yralix, Rosa María, Mariangela, Gaspare, Javier, Gabriela, Humberto, Vanesa, Ángel, Upa**

y Me aguantó, por los excelentes momentos compartidos dentro como fuera de clases.

A la Universidad de Oriente, por haberme permitido desarrollarme como un estudiante íntegro, y por permitirme obtener todos los conocimientos que me harán un gran profesional.

A todos mis profesores, y en especial a los Ing. Miguel Flores y Milagros Sucre, excelentes personas que siempre me ayudaron durante el desarrollo de esta carrera.

A los miembros del jurado, los Ing. Rubén Vega y Jorge Guevara, por toda su colaboración.

A todo el equipo de ingeniería de procesos en Oriconsult C.A. por darme el apoyo y brindarme todos sus conocimientos para llegar al final del proyecto exitosamente, en especial a los Ing. Adriana Goncalvez como mi tutora industrial, Ing. Sabrina Salazar, al Ing. Pedro Argote y Ing. Lenin Cortez gracias...

JORGE CARRILLO

INDICE

ACTA DE APROBACIÓN	iii
RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2 BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1 Ubicación del Área en Estudio.....	8
2.2.2 Efluentes	9
2.2.3 Clarificación de Efluentes	9
2.2.4 Métodos Usados en la Clarificación de Efluentes.....	10
2.2.4.1 Métodos Químicos.....	10
2.2.4.2 Métodos Mecánicos	10
2.2.5 Opciones de Tratamiento para Efluentes.....	11
2.2.5.1 Tratamiento Primario.....	11
2.2.5.2 Tratamiento Secundario.....	11
2.2.5.3 Tratamientos Terciarios o Especiales	11
2.2.6 Opciones de Disposición para Efluentes	12
2.2.6.1 Medio Ambiente	12
2.2.6.2 Inyección al Subsuelo	12
2.2.6.3 Confinamiento en Reservorios no Productivos	12
2.2.7 Equipos Utilizados para el Tratamiento de Aguas Efluentes	13
2.2.7.1 Equipos Primarios de Separación	13
2.2.7.2 Equipos Secundarios de Separación	14
2.2.7.3 Equipos Terciarios de Separación.....	16
2.2.8 Programa de Simulación HYSYS 3.2.....	17

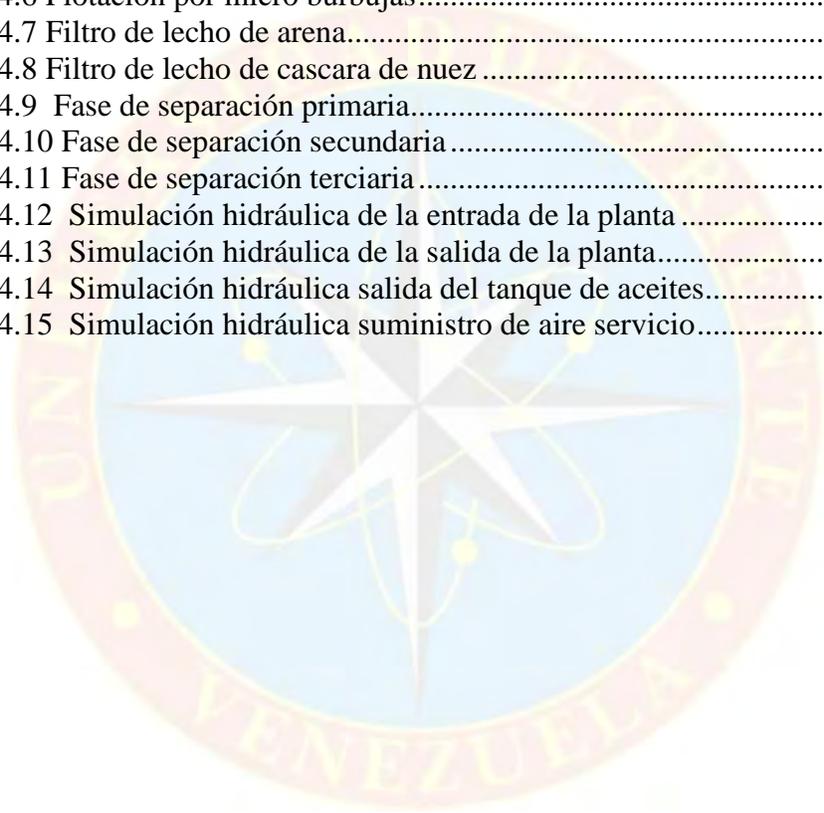
2.2.9 Programa de Simulación PIPEPHASE 9.1	17
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	18
CAPÍTULO III.....	20
MARCO METODOLÓGICO	20
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	21
3.4 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS.....	21
3.4.1 Especificación Mediante el Desarrollo de una Matriz Técnico- Ambiental los Equipos para el Tratamiento del Agua de Producción en el Centro Operativo Aguasay.	21
3.4.2 Generación de la Simulación Correspondiente a la Planta de Tratamiento a Instalarse en el Centro Operativo Aguasay Utilizando HYSYS 3.2.....	23
3.4.3 Selección de las Dimensiones de los Equipos y su Ubicación en el Área Disponible del Centro Operativo Aguasay.....	23
3.4.4 Elaboración de los Cálculos Hidráulicos de la Red de Tuberías de la Planta de Tratamiento a través del Simulador PIPEPHASE 9.0.....	24
3.4.5 Evaluación de los Servicios Auxiliares e Industriales Requeridos para el Óptimo Funcionamiento de la Planta de Tratamiento.....	25
3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS.....	26
3.5.1 Revisión Bibliográfica.....	26
3.5.2 Observación Directa	26
P 26	
3.5.3 Entrevistas	26
3.6 RECURSOS	26
CAPÍTULO IV	28
ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
4.1 ESPECIFICACIÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA MATRIZ TÉCNICO ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN EN EL CENTRO OPERATIVO AGUASAY	28
4.2 GENERACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS CORRESPONDIENTES A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN A INSTALARSE EN EL CENTRO OPERATIVO AGUASAY UTILIZANDO HYSYS.....	43
4.3 SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS Y SU UBICACIÓN EN EL ÁREA DISPONIBLE DEL CENTRO OPERATIVO AGUASAY	53
4.4 ELABORACIÓN LOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LA RED DE TUBERÍAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO A TRAVÉS DEL SIMULADOR PIPEPHASE.....	56

4.5 EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS AUXILIARES E INDUSTRIALES REQUERIDOS PARA EL ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÉNDICES.....	82



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Municipio Aguasay.....	9
Figura 4.1 Separador de Placas Corrugadas C.P.I.	31
Figura 4.2 Separador tipo hidrociclón.....	32
Figura 4.3 Desnatador tipo Skim Vessel.....	33
Figura 4.4 Separadores de flotación por aire Disuelto (D.A.F.)	35
Figura 4.5 Separador por flotación de Gas Inducido	36
Figura 4.6 Flotación por micro burbujas.....	37
Figura 4.7 Filtro de lecho de arena.....	38
Figura 4.8 Filtro de lecho de cascara de nuez	39
Figura 4.9 Fase de separación primaria.....	50
Figura 4.10 Fase de separación secundaria.....	51
Figura 4.11 Fase de separación terciaria	52
Figura 4.12 Simulación hidráulica de la entrada de la planta	65
Figura 4.13 Simulación hidráulica de la salida de la planta.....	66
Figura 4.14 Simulación hidráulica salida del tanque de aceites.....	67
Figura 4.15 Simulación hidráulica suministro de aire servicio.....	68



LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 4.1 Matriz de evaluación para fase de separación primaria.....	40
Grafico 4.2 Matriz de evaluación para fase de separación secundaria	41
Grafico 4.3 Matriz de evaluación para fase de separación terciaria	42



LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Caracterización del separador de placas corrugadas (C.P.I.).....	31
Tabla 4.2 Caracterización del separador tipo Hidrociclón (HC).....	32
Tabla 4.3 Caracterización del desnatador tipo Skim Vessel.....	33
Tabla 4.4 Caracterización del Separadores de flotación por aire disuelto (D.A.F.)	34
Tabla 4.5 Caracterización del separador por gas inducido (I.G.F.)	35
Tabla 4.6 Caracterización del separador por micro burbujas (M.B.F.).....	37
Tabla 4.7 Caracterización del filtro lecho de arena.....	38
Tabla 4.8 Caracterización del filtro echo cascara de nuez	39
Tabla 4.9 Caracterización del efluente.....	44
Tabla 4.10 Caracterización de fases.....	47
Tabla 4.11 Definición de dimensiones de equipos.....	54
Tabla 4.12. Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero	59
Tabla 4.13. Criterios hidráulicos para fluidos dinámicos.	60
Tabla 4.14 Velocidades típicas en líneas de gases y vapor.....	60
Tabla 4.15 Resultados de la simulación hidráulica de entrada de la planta.	65
Tabla 4.16 Resultados de la simulación hidráulica de la salida de la planta.	66
Tabla 4.17 Resultados de la Simulación Hidráulica de salida del tanque de aceite.....	67
Tabla 4.18 Resultados de la simulación hidráulica del aire de servicio.....	69
Tabla 4.19 Estimación de la cantidad y tipo de válvulas por area ó equipos.....	70
Tabla 4.20. Consumo de Aire de instrumentos.	71
Tabla 4.21. Consumo de Aire de Servicio de Tanques de Presurización	71
Tabla 4.22. Requerimiento de Aire de Servicio de los Reactores y el Digestor.	72
Tabla 4.23 Dosificación de Químicos de la Planta de Tratamiento.....	74
Tabla 4.24 Consumo de carga (HP/Kw) y tensión (V) por equipos de motor eléctrico de la planta de tratamiento de efluentes.....	75
Tabla 4.25 Análisis de costos clase V.....	77



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, PROVENIENTES
DEL CAMPO AGUASAY EN EL ESTADO MONAGAS.**

AUTOR:

Br. JORGE A. CARRILLO P.
C.I. N°: 18.463.627
Año 2010

ASESORES:

Ing. Msc. NORIS BELLO
ASESOR ACADÉMICO
Ing. ADRIANA GONCALVEZ
ASESOR INDUSTRIAL

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, va dirigido al diseño conceptual de una planta para el tratamiento y disposición final de aguas de producción provenientes del campo Aguasay ubicado en el estado Monagas, para manejar los nuevos volúmenes de producción que se determinaron en el portafolio de oportunidades de el periodo 2006 – 2025y alcanzar las condiciones fisicoquímicas del agua ya que se exige que los efluentes deben ser llevados a las especificaciones técnicas impuestas por el Ministerio del Poder Popular Para el Ambiente (MPPPA), antes de disponerlos al ambiente. Para lograr el objetivo general fue necesario seleccionar las tecnologías que más se adaptaban a las necesidades del sistema, luego suministrar data característica de los efluentes a clarificar para simular los procesos y dimensionar los equipos de la planta de tratamiento, conjuntamente con ella las redes hidráulicas y servicios necesarios para llevar a cabo los procesos con el máximo de calidad. Según los resultados obtenidos el diseño de la planta permite alcanzar las condiciones físico químicas de los efluentes para la preservación del ambiente según las leyes vigentes y permite manejar los volúmenes estimados para el periodo 2006 2025.

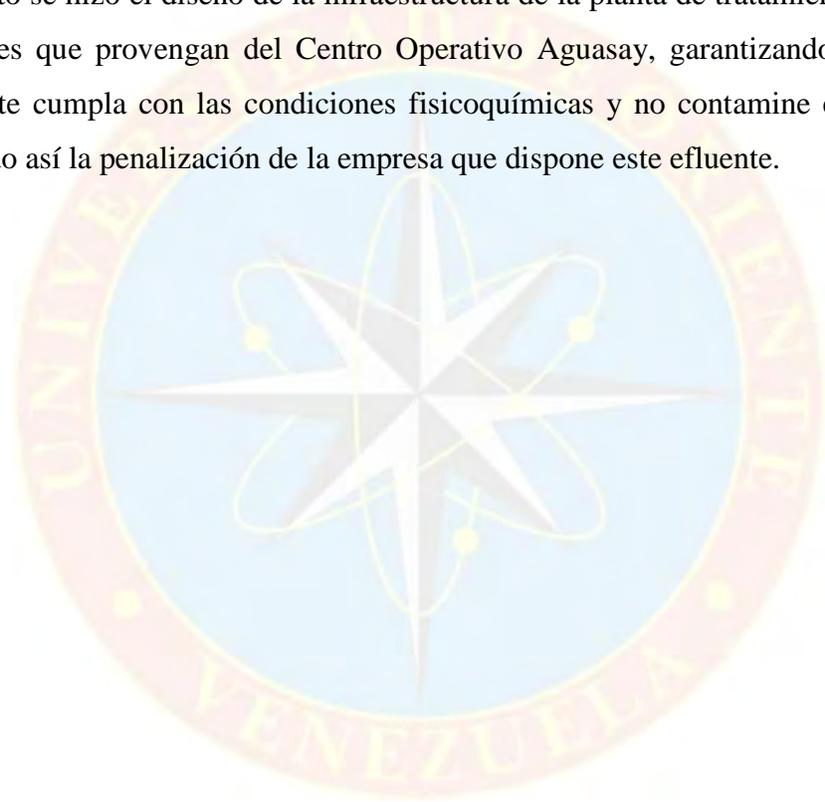
INTRODUCCIÓN

Hoy en día a nivel mundial, se presta mayor atención a los problemas ambientales debido a una creciente conciencia pública, a preocupaciones y presiones gubernamentales, como consecuencia del deterioro continuo del ambiente, a causa de acciones antrópicas e industriales. A su vez se ponen mayores atenciones en las actividades específicas de las compañías exploradoras y productoras tanto privadas como estatales, exigiéndoles que demuestren su compromiso con el ambiente mediante la adopción de políticas y la actuación concreta en campo.

Uno de los generadores de contaminación durante las actividades de producción de petróleo y gas de casi todos los pozos y yacimientos es el subproducto conocido como agua de producción, históricamente ésta ha promediado seis veces la producción de petróleo durante la vida de todos los pozos petroleros, por lo que diariamente deben manejarse millones de barriles que contienen considerables cantidades de sales disueltas, sólidos suspendidos, metales e hidrocarburos que descargados al ambiente pueden ocasionar daños al ecosistema.

En el Municipio Aguasay aproximadamente a 80 km de la población de Anaco, se encuentra el campo productor Aguasay, conformado por la planta compresora Aguasay 5-A y cuatro (4) estaciones de flujo denominadas Aguasay 4A, Aguasay 5A, Caro y Carisito, quienes llevan la producción de los pozos del área hasta la estación de descarga principal Aguasay, operada por PDVSA Gas Anaco. El Campo requiere una infraestructura que permita manejar los nuevos volúmenes de líquido y gas, orientando la producción a la nueva filosofía del Distrito, aunado al hecho de que según proyecciones realizadas aumentará considerablemente el volumen de efluentes a tratar.

Con el propósito de llevar a cabo la especificación exigida por el decreto n° 883 referido a las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”; para ser descargados al ambiente, el agua de producción proveniente de las estaciones de flujo, deben pasar por un previo tratamiento que elimine de esas corrientes, cualquier impureza o sustancia contaminante que pueda poner en riesgo al medio ambiente. por lo anteriormente expuesto se hizo el diseño de la infraestructura de la planta de tratamiento para aguas efluentes que provengan del Centro Operativo Aguasay, garantizando así que esta corriente cumpla con las condiciones fisicoquímicas y no contamine el ecosistema, evitando así la penalización de la empresa que dispone este efluente.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, un tema muy discutido por parte de los gobiernos de cada país es la protección al ambiente, a causa de las actividades de exploración y producción de las empresas petroleras quienes muchas veces no llevan a cabo los procesos que la ley impone. Las actividades petroleras generan contaminantes, entre los cuales se encuentra el agua de producción o también llamada salmuera; éste subproducto trae consigo gran cantidad de sales, metales, sólidos e hidrocarburos suspendidos y disueltos, que ocasiona problemas ambientales cuando no son tratados y se van a descargar a cuerpos de agua o a reutilizar para procesos de recuperación.

En el municipio Aguasay del estado Monagas, aproximadamente a 80 km de la población de Anaco y formando parte del Área Mayor de Oficina, se encuentra el campo Aguasay operado por PDVSA Gas Anaco, constituido actualmente por la estación de descarga Aguasay principal, la planta compresora Aguasay 5-A y cuatro estaciones de flujo como lo son: AGUASAY 4-A, AGUASAY 5-A, Caro y Carisito.

De acuerdo al Portafolio de Oportunidades (PDO) para el periodo comprendido entre los años 2006 – 2025, en este campo, se estima un incremento importante en la producción tanto de gas como de líquidos (Crudo + Agua). En este sentido PDVSA Gas Anaco visualizó que la infraestructura existente en el campo no es suficiente para el manejo de estos nuevos volúmenes de producción y a través de una evaluación preliminar hecha actualmente en el Centro Operativo, determinó que las aguas de producción provenientes de los pozos, que serán reutilizadas deben ser previamente

tratadas y llevadas a las especificaciones impuestas por el Ministerio del Poder Popular Para el Ambiente (MPPPA). El PDO esta en el Apéndice A del texto.

Las deficiencias que existen en el Centro Operativo, como la falta de equipos para manejar los aumentos de volumen esperados, pueden traer graves consecuencias, ya que si rebasa la capacidad de éste, por el incremento de la producción, se van a generar problemas en los equipos existentes o aun peor, situaciones peligrosas tanto para los trabajadores como para el medio ambiente, lo que se traduce en la toma de acciones legales y penalizaciones en contra de la industria.

Como consecuencia de lo anterior se requirió diseñar a nivel conceptual una planta de tratamiento de aguas efluentes (Aguas de producción), provenientes del Centro Operativo Aguasay, con el propósito de sanearlas y alcanzar las condiciones fisicoquímicas que eviten el deterioro de los equipos de clarificación de efluentes como los separadores de placas corrugadas, los separadores por inyección de aire y filtros, cumpliendo así con las especificaciones necesarias de su disposición al medio ambiente y eliminando las deficiencias en el Centro Operativo para evitar problemas ambientales a futuro.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Diseñar conceptualmente una planta para el tratamiento y disposición final de las aguas de producción provenientes del Campo Aguasay en el estado Monagas.

1.2.2 Objetivos Específicos

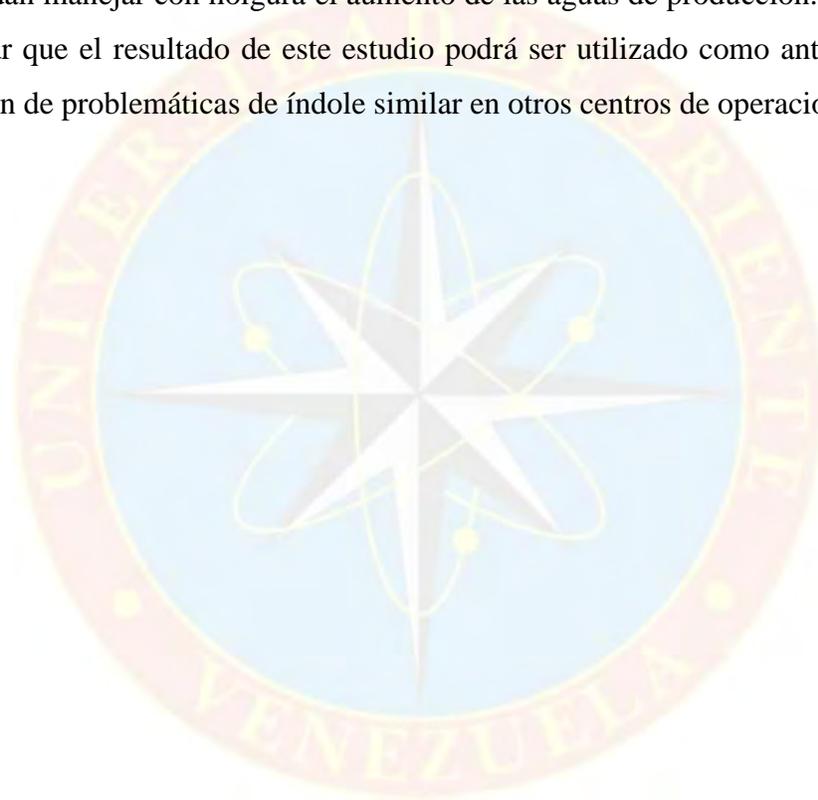
- Especificar mediante el desarrollo de una matriz técnico-ambiental los equipos para el tratamiento del agua de producción en el Centro Operativo Aguasay.
- Generar la simulación de procesos correspondientes a la planta de tratamiento de agua de producción a instalarse en el Centro Operativo Aguasay utilizando el simulador HYSYS 3.2.
- Seleccionar las dimensiones de los equipos y su ubicación en el área disponible del Centro Operativo Aguasay.
- Elaborar los cálculos hidráulicos de la red de tuberías de la planta de tratamiento a través del simulador PIPEPHASE 9.0.
- Evaluar los servicios auxiliares e industriales requeridos para el óptimo funcionamiento de la planta de tratamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según los proyectos que se esperan desarrollar en el Centro Operativo Aguasay, se producirá un aumento significativo en los volúmenes de hidrocarburos provenientes del campo y conjuntamente con éste, un aumento de efluentes (agua de producción), los cuales deben ser tratados, bien sea para utilizarlo en la recuperación secundaria, uso interno del centro operativo, uso de sistemas contra incendios o para su disposición al ambiente bajo las normas legales vigentes.

Actualmente la infraestructura del Centro Operativo Aguasay no está en óptimas condiciones para tratar las aguas de producción; esto fue determinado por PDVSA Gas Anaco a través de supervisiones constantes, las cuales permitieron concluir que no existen las instalaciones acordes para manejar efectivamente el

incremento esperado de efluentes, a fin de puedan ser dispuestos al ambiente, cumpliendo con los parámetros exigidos por las normas técnicas ambientales que rigen la materia. Por lo que es necesario diseñar una planta de tratamiento de aguas de producción, a ser instalada en dicha área. En los argumentos antes planteados, radico la importancia del logro de los objetivos de esta investigación, la cual constituirá una herramienta técnica que al ponerla en práctica permitirá contar con una planta donde se puedan manejar con holgura el aumento de las aguas de producción. Es importante destacar que el resultado de este estudio podrá ser utilizado como antecedente en la solución de problemáticas de índole similar en otros centros de operaciones.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los efluentes, durante mucho tiempo han sido estudiados y como resultado de ello se tiene la creación de numerosas tecnologías, con el propósito de darles un tratamiento que permita alcanzar una calidad optima para su uso o disposición final según las exigencias ambientales de la ley en el país. Por ende se han realizado diversos estudios al respecto, dentro de los que podemos destacar:

Velásquez, A. (2004), elaboró el trabajo de grado “Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas efluentes del Campo El Furrial (TAEF)”, donde se diseñaron las instalaciones con el propósito de aumentar la capacidad de tratamiento y disposición de efluentes líquidos en Jusepín, desde 122 hasta 222 MBAD, se realizaron cuadros comparativos de las condiciones de trabajo durante la adecuación y la evaluación económica, concluyendo que el diseño para el aumento de la capacidad de tratamiento en función de los efluentes saneados era económicamente viable.

Alvarado, Y. (2006), en su Informe sobre la calidad del agua de inyección, calculó la eficiencia de los equipos utilizados para el tratamiento del agua y proponer mejoras en el proceso de las plantas, que permitan optimizar la calidad del agua, concluyendo que el mejoramiento de la calidad del agua se relaciona directamente con la recuperación de crudo desde las PIAS, ajustes en la operación de las plantas y en tratamiento químico.

El Aysami, E. (2008), en su trabajo de investigación titulado, “Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de agua de producción asociada a la extracción de crudo del área Sanvi Güiere Distrito San Tome”, comparo a través de una matriz de evaluación dos tecnologías de tratamiento, concluyendo en que la calidad del agua descargada por la planta de inyección de agua en la estación de descarga patio tanque Güere, no cumplen con los límites de los parámetros fisicoquímicos exigidos en el decreto 883 para ser vertidas en ríos, lagos y mares

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Ubicación del Área en Estudio

El Campo Aguasay se encuentra ubicado en el Municipio Aguasay estado Monagas aproximadamente a 80 km de la población de Anaco y es operado por la Unidad de Explotación Gas Condensado del Distrito Anaco; limita al Norte con el Campo Carisito, al Sur con los Campos Mata y Zumo, al Este con los Campos Acema-100 y 200, y al Oeste con el Campo Mata Central. El Centro Operativo Aguasay, estará ubicado en las adyacencias de la Estación de Descarga Aguasay Principal.



Figura 2.1 Municipio Aguasay
(Fuente: Oriconsult Doc. Bases y Criterios de Diseño Aguasay)

2.2.2 Efluentes

Los desechos y residuos líquidos producidos por las industrias son denominados efluentes. La gama de efluentes industriales es muy amplia, su composición varía según el tipo de actividad que lo genera y no es constante para cada caso específico resulta necesario estudiar primero el efluente para poder proyectar un tratamiento eficiente y económico. En los efluentes de la industria petrolera (agua de producción) se hallan dos tipos de emulsiones, una emulsión de aceite en agua (agua aceitosa), es aquella donde el aceite está disperso en la fase acuosa y la emulsión agua en aceite se refiere al agua dispersa en el aceite.

2.2.3 Clarificación de Efluentes

Es un proceso que separa el petróleo libre, el emulsionado y los sólidos suspendidos del agua, proveniente de los tanques de lavado antes de disponerla a su destino final. El agua separada del petróleo por los procesos de deshidratación

contiene cantidades apreciables de crudo emulsionado que es necesario separar antes de utilizar o desechar dicha agua. Es en las instalaciones de separación y decantación, donde se inicia el proceso de clarificación para posteriormente disponer estas aguas, las cuales pueden ser inyectadas al yacimiento evitando contaminar el ambiente, aumentando la extracción adicional de crudo o simplemente para ser arrojadas directamente a lagos, lagunas, ríos, etc.

2.2.4 Métodos Usados en la Clarificación de Efluentes

2.2.4.1 Métodos Químicos

Consisten en dosificar productos surfactantes en puntos ubicados estratégicamente de acuerdo a las características del efluente, la tasa de producción o los requerimientos de calidad e infraestructura del sistema. Con los productos químicos se logra que las partículas de crudo presentes en forma de emulsión se aglomeren formando flóculos de petróleo que suben a la superficie originando una capa continua (nata) de crudo, la cual puede separarse del agua.

2.2.4.2 Métodos Mecánicos

Una vez formada la capa continua de crudo en la superficie del agua, se separa por métodos mecánicos, para lo cual se hace pasar por dispositivos de diferentes diseños que facilitan y aceleran su recolección. Generalmente estos métodos químicos y mecánicos se combinan para lograr con éxito una buena clarificación.

2.2.5 Opciones de Tratamiento para Efluentes

2.2.5.1 Tratamiento Primario

Son procesos físicos en los que se disminuye el contenido de aceites, grasas flotantes y sólidos en suspensión. De manera general, los tratamientos consisten en procesos de desarenado, sedimentación, remoción de aceites y grasas; en los cuales se separa el hidrocarburo libre, existiendo diversos diseños en los que varía la efectividad.

2.2.5.2 Tratamiento Secundario

Generalmente esta etapa del tratamiento comprende la aplicación de procesos biológicos en los que se remueven principalmente los compuestos orgánicos mediante el uso de la oxidación bacteriana. Esta oxidación biológica se puede conseguir de varias maneras, siendo los métodos más comunes, los de: Lagunas de oxidación natural y/o aireada, sistemas de lodos activados y filtros biológicos.

2.2.5.3 Tratamientos Terciarios o Especiales

En algunos casos, es necesario remover de los efluentes algunas sustancias o compuestos en particular, ácidos o sales, para lo cual se aplican tratamientos especiales que dependen del tipo de contaminante que se desee eliminar, entre estos tratamientos se tienen: procesos de desalinización, extracción por solventes, intercambio de iones, etc.

2.2.6 Opciones de Disposición para Efluentes

2.2.6.1 Medio Ambiente

La disposición final de las aguas de formación puede ser al medio ambiente, descargándolas al mar, ríos, lagos cercanos a las instalaciones de producción o para ser utilizadas en fines agropecuarios. En todo caso, cualquiera que sea el uso, estas aguas deben ser tratadas de acuerdo a las disposiciones de regulación legal establecidas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA).

2.2.6.2 Inyección al Subsuelo

Otras de las opciones de disposición final del agua de formación puede ser, inyección en el subsuelo, bien sea para recuperación secundaria de petróleo en yacimientos productivos que han perdido su capacidad de producción, como consecuencia de una reducción de la presión de yacimiento o reservorios no productivos.

2.2.6.3 Confinamiento en Reservorios no Productivos

Otra de las formas de disposición de las aguas de formación es inyectarla en reservorios no productivos para confinamiento en el subsuelo. De igual manera debe dársele un tratamiento fisicoquímico a fin de evitar obstrucciones, prevenir problemas de corrosión o depósitos de escamas en el sistema de inyección.

2.2.7 Equipos Utilizados para el Tratamiento de Aguas Efluentes

2.2.7.1 Equipos Primarios de Separación

Aquellos que poseen alta capacidad para procesar grandes cantidades de crudo y variaciones de flujo en la alimentación.

- Separadores API: Son tanques rectangulares en donde ingresa el agua residual y se logra la separación del aceite por efectos de la gravedad. En estos tanques el aceite flota a la superficie, debido a que es menos denso que el agua, siempre y cuando no interfieran otros objetos.
- Separador de placas paralelas: Son equipos cuyo objetivo es la separación de los hidrocarburos libres presentes en la corriente de agua. La separación está basada en la diferencia de densidad entre el agua y los hidrocarburos, a medida que el agua entra al separador a través de un compartimiento, su velocidad es disminuida y el flujo controlado para mantener una condición laminar. Posteriormente, el agua entra al empaque de platos donde las gotas de crudo y los sólidos son separados por gravedad.
- Separador de placas corrugadas: Equipo que involucra la instalación de una serie de platos paralelos al eje longitudinal de un separador API, estos platos son corrugados (como el material de los techos) con el eje de corrugación paralelo a la dirección de flujo. Los platos o placas forman una “V” cuando son vistos a lo largo del eje de flujo, el empaque de la placa está inclinado en un ángulo de 45° y la mayor parte del agua es forzada a fluir hacia abajo. Las capas de petróleo ascienden contra el flujo de agua y se concentran en el tope de cada corrugación. Cuando el petróleo llega al final del empaque de platos, es recolectado en un canal y enviado a la interfase petróleo agua de donde son removidos.

2.2.7.2 Equipos Secundarios de Separación

Cuentan con mediana capacidad para procesar grandes cantidades de crudo y variaciones de flujo en la alimentación.

a) Separador de flotación por gas inducido (IGF): La flotación por gas inducido tiene por objeto la remoción de hidrocarburos emulsionados o impurezas que se encuentran en el agua como partículas muy finas, que no pueden ser separadas por simple decantación natural. El IGF está dividido, típicamente en cuatro celdas de flotación en serie, combinadas con compartimientos de entrada y salida. El agua aceitosa entra por el final de la unidad y pasa secuencialmente por cada una de las cuatro celdas de flotación, mejorando notablemente con la adición de floculantes o sustancias químicas para romper las emulsiones.

IGF Mecánicos: Su principal característica radica en la utilización de cuatro ciclos turbinas, las cuales forman un conjunto motor, caja de engranajes y un eje por cada turbina. En la parte interna y superior del IGF existe un manto de gas, el cual tiene como función evitar la entrada de aire al IGF y servir de elemento principal en la separación agua crudo. La turbina succiona gas a través de las ranuras del cilindro y lo descarga en la parte inferior del mismo en forma de pequeñas burbujas, las cuales al subir por el agua aceitosa, producen la flotabilidad del crudo, el cual es retirado de la corriente de agua por medio de un desnatador (SKIMMER).

IGF Hidráulicos: Equipos que utilizan una bomba y un eyector para producir el burbujeo dentro de la corriente de agua aceitosa. Existen tres variantes:

- A través de la bomba se circula agua desde la sección final e inferior del IGF hasta la celda de flotación, la cual la forma un cilindro muy similar al caso

anterior y al final del cilindro esta el eyector el cual genera un vacío y succiona el gas de manta. Las burbujas salen del cilindro con tamaños relativamente grandes y producen el mismo efecto de flotabilidad al crudo.

- El agua circulada por la bomba es mezclada con gas antes de entrar a las celdas de flotación (4 celdas), luego a través de una tubería, se descarga en la parte inferior, produciendo el efecto de flotabilidad obligando a tener un venteo continuo de gas.
- En este caso se tiene un equipo vertical con una sola celda, donde no se tiene una bomba exclusiva para la función de recirculación, sino que se utilizan las bombas de transferencia.

b) Separador de flotación por aire disuelto (DAF): El principio de la flotación por aire disuelto es similar al proceso de inducción de gas, solo que es utilizado aire como vehículo para generar las micro burbujas. El agua a ser tratada se sobresatura de aire a una presión entre 40 y 60 lpcm en un tanque de presurización, durante un periodo de 2 a 3 minutos. Esta corriente entra a la cámara de flotación, a presión atmosférica, a través de un sistema de distribución, el aire disuelto es expandido en forma de pequeña burbujas, las cuales se adhieren a las partículas de sólidos en suspensión y glóbulos de aceite emulsionado, conduciéndolos a la superficie de la cámara.

c) Hidrociclones: Consiste en múltiples ciclones agrupados dentro de una carcaza en donde el flujo es distribuido uniformemente; por efecto de fuerzas tangenciales, se aumenta la diferencia sobre la fase acuosa y la capa de crudo, permitiéndose una separación eficiente del crudo y el agua.

2.2.7.3 Equipos Terciarios de Separación

Aquellos que cuentan con baja capacidad para procesar grandes cantidades de crudo y variaciones de flujo en la alimentación.

a) Filtros: Son equipos que permiten la remoción de hidrocarburos y sólidos en suspensión que no pudieron ser retenidos de los procesos previos. Dichos equipos se basan en el principio de hidrodinámica, adhesión y atracción molecular para atrapar contaminantes.

- **Filtros de tierra diatomea:** La tierra diatomea es una sílica extremadamente pura, formada por fósiles de plantas marinas unicelulares. Esta se deposita sobre un tamiz o lienzo; siendo este lecho el que actúa como medio de filtrado. Este filtro opera hasta que la caída de presión a través del mismo alcance un nivel preestablecido, entonces se retrolava desechándose el material filtrado.
- **Filtros de cartucho:** Son aquellos que generalmente utilizan cilindros contruidos de material poroso tal como papel, metal perforado o sintetizado, piedra o están formados por fibras tejidas de materiales sintéticos tales como: polipropileno, vidrio o celulosa como medio filtrante siendo usados normalmente donde el pretratamiento ha producido aguas de gran calidad y los volúmenes que se vienen procesando son bajos.
- **Filtros de cáscara de nuez:** Fueron desarrollados como el método más conveniente de filtración de aceite libre y sólidos suspendidos, en aplicaciones donde los lechos de arena eran convencionalmente usados, el lecho es de 100% cáscaras de nuez, las cuales tienen excelentes características de superficie para la coalescencia y filtración.

- **Filtros multi -lecho (MMF):** Estas unidades son similares a los filtros de cáscara de nuez. Están diseñados para remover sólidos y en sistemas de agua de producción pueden remover el 98% de los sólidos de más de 2 micrones de diámetro.
- **Filtro pulidor (granate/antracita):** Diseñado para remover hasta más del 98% de las partículas mayores de 2 micrones presentes en el agua de alimentación. Retiene los sólidos más grandes en la capa de antracita y los más finos pasan por esta y quedan en la de granate.

2.2.8 Programa de Simulación HYSYS 3.2

HYSYS es un programa de simulación de procesos completamente interactivo desarrollado por la empresa HYPROTECH. Es un software de procesos que condensa toda la información necesaria para realizar los cálculos flash y propiedades físicas, lo cual permite definir toda la información pertinente (paquete de propiedades: componentes, reacciones químicas, entre otros). Considera simular cada unidad del proceso en forma independiente pero teniendo en cuenta el funcionamiento de todos ellos como un conjunto; también nos permite descomponer un proceso complejo en procesos menores con componentes más concisos y usar paquetes termodinámicos independientes.

2.2.9 Programa de Simulación PIPEPHASE 9.1

Es un programa de simulación de flujo de fluidos desarrollado, al igual que PRO/II, por la empresa "Simulation Sciences, Inc" (SimSci). Constituye una poderosa herramienta de simulación de flujo multifásico en estado estacionario, permitiendo calcular caídas de presiones, velocidades generadas por un fluido en una tubería, levantamiento de líquidos en pozos y en líneas de flujo, entre otros. Con el

cálculo de estos parámetros se puede predecir el comportamiento de un determinado fluido en una línea de flujo y así, establecer si se requiere o no un cambio de tubería o equipo involucrado en la simulación. Generalmente el input de datos o datos de entrada, requerido para la corrida de simulación en Pipephase, está representado por los resultados proporcionados por la simulación de procesos, es decir, composición del fluido, propiedades del fluido, temperatura, presión y caudal en cada tramo a simular.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Afectación ambiental: Se refiere al deterioro que causa alguna actividad sobre el medio ambiente, la cual afecta tanto a fauna, flora como a la humanidad en general.

Desecho: Es cualquier material sustancia, solución, mezcla u objeto que no tiene un destino inmediato y debe ser eliminado o dispuesto en forma permanente.

Disposición: Es la ubicación permanente del desecho, dentro o sobre un terreno determinado, minimizando las posibilidades de migración de componentes peligrosos del mismo al ambiente, en conformidad con las normas ambientales establecidas.

Disponibilidad de servicios: Se refiere a la facilidad con que podemos llevar los servicios requeridos al campo, o la capacidad para localizarlos y poder llevar a cabo las operaciones sin problemas de insuficiencia de los mismos.

Flexibilidad operacional: Se refiere a la capacidad de cambiar las el volumen y la variedad de actividades, para generar un punto de equilibrio en caso de no poder llevar a cabo las operaciones de manera normal.

Impacto ambiental: Es el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Estas acciones, motivadas por la

consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social.

Mantenibilidad: Se refiere al esfuerzo requerido para conservar el funcionamiento normal de los equipos o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla y se detengan las operaciones.

Portafolio de oportunidades (PDO): Conjunto de actividades agrupadas por paquetes, generadores y no generadores de potencial de petróleo y gas, que constituyen el portafolio de oportunidades de negocio, definidas con base en la disponibilidad de reservas y la capacidad de ejecución operacional, sin limitaciones financieras, ni de mercado.

Tratamiento: Es cualquier proceso que cambia química, física o biológicamente el desecho y lo hace menos peligroso para el ambiente, también puede hacerlo mas seguro para su transporte, almacenamiento o disposición final. El tratamiento puede neutralizar el desecho, recobrar energía o materiales del mismo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio realizado, correspondió a una investigación de tipo explicativa, ya que se encargo de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, “los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis, sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos” Arias F. (1999, p. 19).

El proyecto tiene como finalidad garantizar a través del diseño de una infraestructura, el manejo y tratamiento de los efluentes provenientes del campo Aguasay. Esto se realizó mediante el uso de simuladores de hidráulica y procesos, por ello fue necesario tomar en cuenta parámetros operacionales como: presiones de entrada y salida del fluido, composiciones de los efluentes, perfiles topográficos de las rutas de las tuberías, análisis de los estudios batimétricos y parámetros de diseño de cada uno de los equipos, con lo que se designa la investigación de tipo explicativa.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Arias F. (1999, p. 20), el diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. Es por ello que para completar el diseño de la planta de tratamiento de efluentes, la información y datos se tomaron de documentos y proyecciones que han sido realizados, y que son la base de este estudio, por lo que la investigación es de diseño

documental, ya que se basa en “la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos”.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

En el mismo orden de ideas Arias F. (2004), expone que la población o universo se refiere “al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación”.

Para el caso de las investigaciones documentales, específicamente cuando se van a realizar diseños, como es el caso de esta investigación, no se define población y muestra, ya que esta se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otro tipo de documentos.

3.4 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

3.4.1 Especificación Mediante el Desarrollo de una Matriz Técnico-Ambiental los Equipos para el Tratamiento del Agua de Producción en el Centro Operativo Aguasay.

En base a la caracterización de los efluentes del Centro Operativo Aguasay y las tecnologías disponibles para el tratamiento de los mismos, se desarrolló una selección de equipos para optimizar los procesos de clarificación, siguiendo como base las fases de separación, para esto se escogieron distintas variables que permitieron evaluar la actuación de cada equipo en ese aspecto como lo son sus riesgos, flexibilidad, mantenimiento, costos, confiabilidad, impacto ambiental y disponibilidad. Las variables utilizadas en la evaluación fueron analizadas, comparadas y clasificadas entre sí, según el grado de importancia a criterio del

evaluador dentro de un rango del 1 al 4, siendo 1: ninguna importancia, y 4: alta importancia. Luego de la evaluación de las variables, automáticamente la matriz calcula los porcentajes que se van sumando para aumentar las probabilidades de escogencia del equipo.

La opción de tratamiento más recomendable, se determina considerando los siguientes criterios de evaluación:

- Seguridad y riesgos.
- Flexibilidad operacional.
- Mantenibilidad.
- Confiabilidad.
- Afectación ambiental.
- Disponibilidad de servicios.

Se evaluaron estos criterios para cada una de los equipos seleccionados, con valores entre 1 y 5, donde 5 significa mayor aceptación y 1 significa menor aceptación, los valores se colocaban al igual que la anterior a criterio del evaluador.

La tecnología se selecciono, de acuerdo a la que obtuvo mayor puntaje al final de la evaluación, este puntaje viene relacionado de los porcentajes en la primera etapa donde se evalúan las variables sumadas con la segunda etapa donde se estudian los equipos.

3.4.2 Generación de la Simulación Correspondiente a la Planta de Tratamiento a Instalarse en el Centro Operativo Aguasay Utilizando HYSYS 3.2.

Las simulaciones de procesos con el programa HYSYS versión 3.2 de Hyprotech se realizaron con el modelo termodinámico seleccionado en la simulación general como lo es el NRTL-Ideal. Con esto se determinaron las características físico-químicas de todas las corrientes, que van a servir de base para el dimensionado de equipos, tuberías y válvulas de control de presión como parte del desarrollo del proyecto, entre estos parámetros de simulación tenemos:

- Condiciones de entrada a la simulación
- Capacidad de diseño.
- Características físicoquímicas / especificaciones de la alimentación
- Características físicoquímicas / especificaciones de los productos.
- Condiciones de presión y temperatura de entrada

3.4.3 Selección de las Dimensiones de los Equipos y su Ubicación en el Área Disponible del Centro Operativo Aguasay

Por medio de una matriz de selección se escogió la infraestructura necesaria para llevar el agua a los parámetros exigidos por la ley en caso de descargarlos al ambiente. En esta etapa se dimensionaron a través del uso de fórmulas y hojas de datos de procesos en Excel los equipos de la planta de tratamiento de aguas de producción en el Centro Operativo Aguasay. Esto se basó en ciertos parámetros operacionales como la capacidad nominal de la planta de tratamiento, las características de la alimentación, las características de los productos, las condiciones

de presión y temperatura de la entrada, que posiblemente afectaran la seguridad, confiabilidad y economía de la planta.

3.4.4 Elaboración de los Cálculos Hidráulicos de la Red de Tuberías de la Planta de Tratamiento a través del Simulador PIPEPHASE 9.0

Las premisas para la revisión de la red hidráulica, propuesta en la Ingeniería Conceptual, de la planta de tratamiento para el agua proveniente de las estaciones: AGUASAY 4A, AGUASAY 5A, CARISITO y CARO hasta el Centro Operativo AGUASAY se presentan a continuación:

Las simulaciones fueron realizadas en el paquete de simulaciones hidráulicas PIPEPHASE, versión 9.1 de Invensys Systems, Inc. el cual puede ser usado para dimensionar tuberías, determinar la potencia requerida por bombas o compresores, predecir presión, temperatura, velocidad, flujo etc. El tipo de flujo fue Composicional para los gases o fluidos multifásicos y líquido para el caso del crudo y agua composicional.

La correlación para la caída de presión y patrón de flujo fue Beggs-Brill-Moody (BBM) y el Método Termodinámico utilizado, Soave Redlich Kwong, ya que se ajustaron de mejor manera a las características del sistema a diseñar; las caídas de presión y velocidades permisibles en tuberías se tomarán de la Norma PDVSA L-TP-1.5 “Cálculo Hidráulico de Tuberías” y Para las velocidades mínimas en las tuberías se toma como referencia la norma API-RP-14E.

3.4.5 Evaluación de los Servicios Auxiliares e Industriales Requeridos para el Óptimo Funcionamiento de la Planta de Tratamiento

Se estimó el consumo de los servicios auxiliares e industriales necesarios para que los procesos desarrollados en el Centro Operativo, puedan llevarse a cabo.

- Sistema de aire para instrumentos.
- Sistema de aire para servicios.
- Sistema de electricidad para equipos.
- Sistema de inyección de químicos.

En esta etapa se seleccionaron los servicios auxiliares requeridos para el óptimo funcionamiento del sistema de tratamiento, de acuerdo a las facilidades para su instalación, operabilidad, disposición de espacio físico y los costos que implica la realización de una planta de tratamiento, los cuales son clase V por estar en la fase de conceptualización de la misma.

La estimación de costos de clase V de la investigación se realizó tomando en cuenta la procura, construcción, arranque y supervisión de la ingeniería por parte de la empresa ORICONSULT C.A, para medir cuantitativamente su proyección o viabilidad en el tiempo.

3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

3.5.1 Revisión Bibliográfica

Con la que se elaborará el marco teórico de la investigación, gracias a la recolección de datos contenidos en manuales, libros, tesis, documentos de soporte de oferta (DSO) entre otros.

3.5.2 Observación Directa

Permitirá constatar a través de visitas al campo las condiciones actuales para el manejo y tratamiento de los efluentes.

3.5.3 Entrevistas

Permitirá obtener información mediante conversaciones que se harán con el personal que labora en la empresa ORICONSULT y con el tutor académico.

3.6 RECURSOS

Recursos humanos y financieros: se contará con el apoyo y asesoría del personal profesional que labora en la empresa ORICONSULT; el cual está conformado por Ingenieros de Petróleo, Mecánicos, Químicos, Civiles, entre otros. En cuanto al asesoramiento académico, el mismo será orientado por profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente - Núcleo de Monagas. De igual manera, la realización de este proyecto estará financiada por la empresa Oriconsult.

Recursos materiales y tecnológicos: se contará con material bibliográfico, informes técnicos, documentos, archivos y equipos de computación con sus respectivos programas, que servirán de soporte para el desarrollo de la investigación.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis y discusión de los resultados están estructurados en función del cumplimiento de los objetivos específicos, establecidos en este proyecto:

4.1 ESPECIFICACIÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA MATRIZ TÉCNICO ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN EN EL CENTRO OPERATIVO AGUASAY

De acuerdo a las necesidades para manejar los nuevos volúmenes de producción estimados para el campo Aguasay y la importancia de tratarlos, dejándolos bajo especificación ambiental para ser vertidos al ambiente se requirió un sistema de tratamiento donde se sometían los efluentes a una combinación de diversos tratamientos físicos, químicos, y/ o biológicos para llevar a cabo la depuración que comprendan la eliminación de hidrocarburos, el ajuste de las variables biológicas, el ajuste de sólidos suspendidos y la desinfección.

En la primera etapa, la finalidad fue reducir en un 90% la concentración de hidrocarburos, 80% los sólidos en suspensión y el DQO en una relación de 6ppm de DQO/1 ppm de hidrocarburos removidos, todos presentes en el agua y sometidos a tratamiento por gravedad, fuerzas centrifugas o simple desnatado y sedimentación con el uso de sustancias químicas desmenuzantes y coagulantes. Para llevar esta fase existen equipos como el separador de placas corrugadas (C.P.I), el separador de tipo hidrociclón, y el desnatador skim vessel, los cuales se compararon para establecer diferencias, semejanzas, ventajas y desventajas a fin de escoger el más idóneo para llevar a cabo el proceso.

En la segunda fase el objetivo fue el tratamiento biológico, donde se remueve el 80% de la materia orgánica disuelta, 80% de sólidos suspendidos, 90 % de los hidrocarburos remanentes y un 45% de sólidos disueltos, a través de tecnologías de inyección de aire o gas presurizado para separar los desechos por densidades, para esto se listaron equipos que entran dentro de las especificaciones exigidas por la fase como los separadores de flotación por aire disuelto, separadores de flotación por gas inducido y separadores de flotación por micro burbujas que al igual que en la primera fase se establecieron tablas comparativas para su elección.

Mientras que para la última fase como lo es la tercera, se requirió la eliminación de los sólidos disueltos en un 80% y el 80% de los sólidos suspendidos remanentes en las corrientes como también un porcentaje de 45% de la DQO restante en la misma proporción de 6ppm de DQO por un ppm de hidrocarburo, la desinfección del mismo mediante la adición de química en tanques especialmente diseñados.

Se requirió que el efluente proveniente del centro operativo Aguasay, fuese llevado a tanques de almacenamiento de donde se irá dosificando a la planta para la primera fase de depuración donde intervienen la eliminación de hidrocarburos con el uso de equipos que actúen por gravedad y productos químicos disueltos que faciliten procesos, luego de sanear, retirar los desechos de la etapa y alcanzar los porcentajes de eliminación ya mencionados, interviene una segunda fase donde se ajustan las variables biológicas y se retiran remanentes del primer proceso por medio tecnologías de eliminación de materia orgánica o carga biológica y sólidos no sedimentables generadoras de contaminación, para dejarle el último e importante paso a la eliminación de sólidos suspendidos mediante filtros y desinfección del efluente con la adición de sustancias químicas controlando evitando así posibles salidas fuera de especificación de la planta.

Luego de los análisis a la bibliografía consultada para el diseño de las estaciones depuradoras o de tratamiento de efluentes se obtuvo una lista de equipos para clarificar los efluentes por cada una de las fases establecidas anteriormente, a continuación se presento una breve descripción de los que se consideraron para la elección de la tecnología; siendo los siguientes en la fase primaria.

Separador de placas corrugadas (CPI): Los investigadores decidieron trabajar en el logro de una unidad pequeña, como lo es el CPI, separador que permite, por la acción de la gravedad, la remoción efectiva y económica de los sólidos contenidos en aguas residuales este involucra la instalación de una serie de platos paralelos al eje longitudinal de un separador API, estos platos son corrugados (como el material de los techos) con el eje de corrugación paralelo a la dirección de flujo. Los platos o placas forman una “V” cuando son vistos a lo largo del eje de flujo, el empaque de la placa está inclinado en un ángulo de 45° y la mayor parte del agua es forzada a fluir hacia abajo. Las capas de petróleo ascienden contra el flujo de agua y se concentran en el tope de cada corrugación. Cuando el petróleo llega al final del empaque de platos, es recolectado en un canal y enviado a la interfase petróleo agua de donde son removidos.

Tabla 4.1 Caracterización del separador de placas corrugadas (C.P.I.)

Equipo	Ventajas	Desventajas
CPI	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de energía y electricidad ya que opera por gravedad • No contiene partes móviles, es libre de mantenimiento con menor supervisión. • 90% de remoción de hidrocarburos y sólidos suspendidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor área • Menor concentración de lodos • Mayor costo de mantenimiento.



Figura 4.1 Separador de Placas Corrugadas C.P.I.
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)

Separador tipo Hidrociclón (HC): es un equipo de separación líquido – líquido en el cual los hidrocarburos son separados de los efluentes líquidos utilizando el principio de la fuerza centrífuga y la diferencia de densidades.

Tabla 4.2 Caracterización del separador tipo Hidrociclón (HC)

Equipo	Ventajas	Desventajas
HC	<ul style="list-style-type: none"> • 80% de eficiencia de remoción de hidrocarburos • Diseño compactado y no requiere química. • No utiliza partes móviles • Poco mantenimiento ya que es totalmente cerrado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto Consumo de Energía • Requiere de un sistema aparte para la remoción de Sólidos y así evitar los taponamientos. • Susceptible al desgaste, ocasionando deficiencias de separación/



Figura 4.2 Separador tipo hidrociclón

(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)

Desnatador tipo Skim Vessel (S.V.): La forma más simple de equipos de tratamiento primario es un tanque o contenedor de reposo (desnatador). Estos están normalmente diseñados para disponer de un largo tiempo de residencia, durante el

cual pueda ocurrir la coalescencia y separación por gravedad donde el petróleo será recolectado y desnatado en la superficie.

Tabla 4.3 Caracterización del desnatador tipo Skim Vessel.

Equipo	Ventajas	Desventajas
SV	<ul style="list-style-type: none"> • 70% de eficiencia de remoción de Hidrocarburos produciendo una excelente calidad de agua tratada. • Ocupa menor área y tiene menores costos de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energía. • Requiere de equipos de complementarios para su funcionamiento

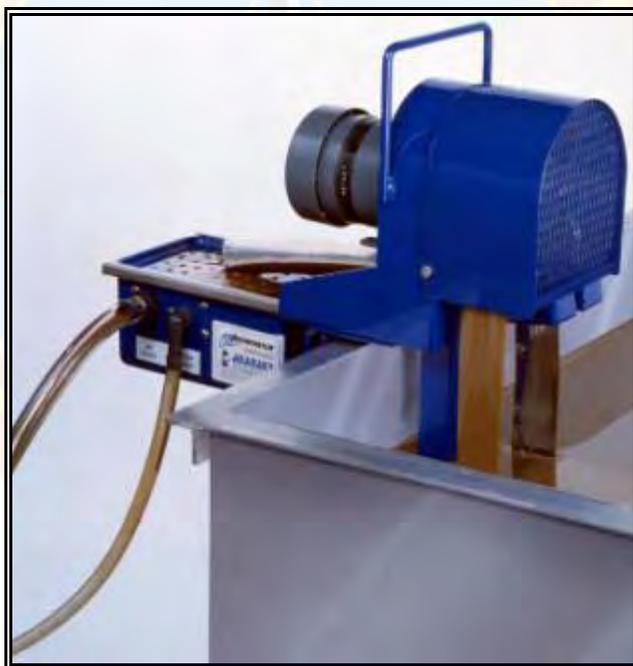


Figura 4.3 Desnatador tipo Skim Vessel
(Fuente: Manual de tecnologías Siemens Water)

En el mismo orden de ideas las alternativas propuestas para la matriz de la fase de separación secundaria; fueron las siguientes:

Separadores de flotación por aire disuelto (D.A.F.): La flotación por aire disuelto es el tercer sistema. Se basa en el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión. Consiste fundamentalmente en someter el agua bruta ya floculada a presión durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido y agitando el conjunto por diversos medios, hasta lograr la dilución del aire en el agua. Posteriormente despresuriza el agua en condiciones adecuadas, desprendiéndose gran cantidad de micro burbujas de aire. Estas se adhieren a los flóculos en cantidad suficiente para que su fuerza ascensional supere el reducido peso de los flóculos, elevándolos a la superficie, de donde son retirados continua o periódicamente, por distintos medios mecánicos.

Con objeto de ahorrar energía por un lado y por otro para evitar al máximo la posible destrucción de flóculos en el turbulento proceso de creación de micro burbujas, normalmente no se presuriza el caudal total de tratamiento, sino un caudal parcial de agua clarificada recirculada suficiente para crear las micro burbujas necesarias para el proceso.

Tabla 4.4 Caracterización del Separadores de flotación por aire disuelto (D.A.F.)

Equipo	Ventajas	Desventajas
DAF	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere agitadores mecánicos para crear las burbujas. • Mayor numero de burbujas producidas por la inyección de aire presurizado • 90% capacidad de remoción de sólidos e hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mayor espacio físico. • Necesita la recirculación de aire para crear las burbujas • Necesita un equipo adicional para la presurización



Figura 4.4 Separadores de flotación por aire Disuelto (D.A.F.)
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)

Separadores de flotación por gas inducido (I.G.F.): La separación por flotación por gas inducido se lleva a cabo al inducir burbujas del gas dentro de una corriente líquida químicamente tratada para obtener una reducción de la gravedad específica y lograr su separación. Previo al proceso de flotación, el agua es acondicionada mediante la inyección de un producto desmulsificante para así provocar el proceso de coagulación.

Tabla 4.5 Caracterización del separador por gas inducido (I.G.F.)

Equipo	Ventajas	Desventajas
IGF	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere Construcción de fosa para desechos líquidos. • Hasta un 90% la capacidad de remoción de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenimiento regularmente • Requiere equipos auxiliares para funcionar y el uso de químicos.



**Figura 4.5 Separador por flotación de Gas Inducido
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)**

Separador por micro burbujas (M.B.F.): El proceso de flotación por Micro burbujas consiste en crear micro burbujas de gas para usarse en la separación de crudo / agua / sólidos por flotación de las gotas de petróleo y partículas sólidas a la superficie de un tanque o recipiente presurizado.

Tabla 4.6 Caracterización del separador por micro burbujas (M.B.F.)

Equipo	Ventajas	Desventajas
MBF	<ul style="list-style-type: none"> • Alta remoción de sólidos y remoción de gotas de crudo por debajo de los 3 micrones. • Ahorro en costos por eliminación del IF. • Bomba resiste la cavitación durante el manejo de gas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere suministrar al vendedor data de la corriente de agua y las condiciones de inyección al pozo. • No se puede extender la Ingeniería de este equipo para aplicar en plantas de agua similares. • Requiere del suministro de gas



Figura 4.6 Flotación por micro burbujas
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)

Del mismo modo las alternativas propuestas para la matriz de la fase de separación terciaria; fueron las siguientes:

Filtro lecho de arena: Los filtros son equipos que permiten la remoción de hidrocarburos y sólidos en suspensión que no pudieron ser retenidos en los procesos previos. Estos equipos se basan en el principio de hidrodinámica utilizando la adhesión y atracción molecular para atrapar contaminantes.

Tabla 4.7 Caracterización del filtro lecho de arena

Equipo	Ventajas	Desventajas
Filtro de lecho de arena	<ul style="list-style-type: none"> • Alta remoción de sólidos en un 80% para producir efluentes de alta calidad. • Costos de construcción moderadamente bajos por requerir poca energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de área pueden ser una limitación. • Se requiere de un mantenimiento rutinario.

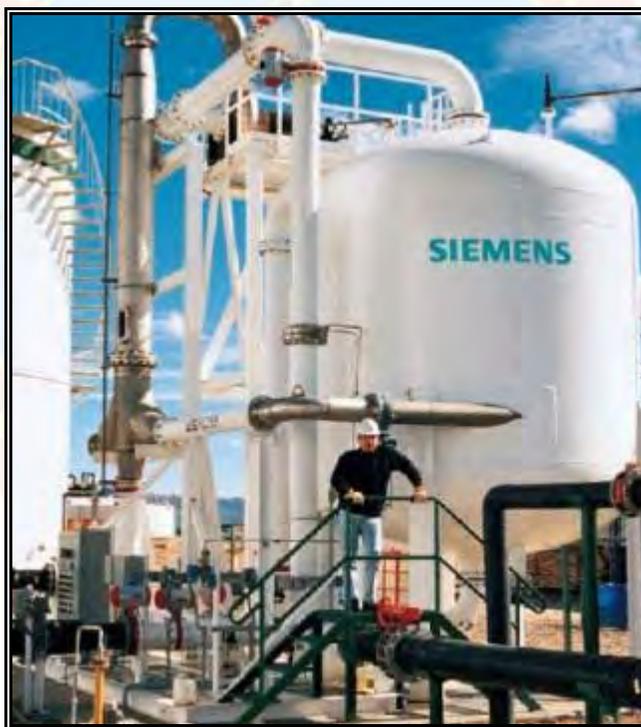


Figura 4.7 Filtro de lecho de arena
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)

Filtro lecho cáscara de nuez: Estos filtros son similares a los de lecho de arena salvo que el material filtrante es la cáscara de nuez que es un material afín a los hidrocarburos, de más facilidad para su retrolavado y de alta eficiencia de remoción.

Tabla 4.8 Caracterización del filtro echo cascara de nuez

Equipo	Ventajas	Desventajas
Filtros de Cáscara de Nuez	<ul style="list-style-type: none"> • El filtro cáscara de nuez tiene afinidad al petróleo y se renueva solo haciendo retrolavado • Realiza una remoción de partículas de crudo de hasta 2 micrones 	<ul style="list-style-type: none"> • Es deseable una concentración de entrada de 50 ppm o menos. • Costoso en comparación con los filtros de arena.



**Figura 4.8 Filtro de lecho de cascara de nuez
(Fuente: presentación de tecnologías Siemens Water)**

Es importante destacar que la elección de la tecnología para el tratamiento del agua de producción en el Centro Operativo Aguasay, se basó fundamentalmente en que los equipos elegidos, formen un engranaje que técnica, económica y

4.2 GENERACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS CORRESPONDIENTES A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN A INSTALARSE EN EL CENTRO OPERATIVO AGUASAY UTILIZANDO HYSYS

En el siguiente objetivo se presento por medio de tablas la calidad del agua de producción proveniente del centro operativo Aguasay con su respectiva referencia del límite máximo exigido por el decreto N 883, el balance de masa y energía así como también las propiedades de las corrientes de procesos que conforman la Planta de Tratamiento de Efluentes Aguasay, las cuales parten desde los tanques de almacenamiento, hasta la corriente de agua tratada que va hacia el canal pluvial, utilizando para ello, ecuaciones para el cálculo de unidades de control de efluentes y el simulador de procesos HYSYS versión 3.2, ésto como parte del desarrollo del Proyecto “Diseño Conceptual de una planta de tratamiento para la disposición final de aguas de producción, provenientes del Campo Aguasay en el Estado Monagas”.

El Sistema de tratamiento de aguas de producción fue diseñado a fin de alcanzar las condiciones fisicoquímicas del agua, requeridas para su disposición final en cuerpos de agua., la calidad inicial del agua fue determinada y confirmada, por el personal de Exploración y Producción de PDVSA, por medio de muestras estudiadas en laboratorios y las condiciones de trabajo mostradas en este documento como: presión, temperatura, flujo, densidad, viscosidad, entre otras; se utilizaron para equipos de separación, líneas de flujo, tanques de almacenamiento, de aireación, y de dosificación de químicos, con el propósito de establecer condiciones de operación y diseño de cada uno de estos. La caracterización del agua salada suministrada por PDVSA, de acuerdo al análisis realizado en el Laboratorio de San Tomé a muestras de agua tomadas en el campo Aguasay muestran una calidad que se encuentra fuera de especificación con respecto a los valores limites exigidos por el decreto n°883, y es la que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.9 Caracterización del efluente

COMPONENTES	Calidad del agua	Decreto n° 883
Cloruro (mg/l)	2.283	1000
Bicarbonatos (como CaCO ₃) (mg/l)	1.650	-----
DQO(CH ₂) ₄ (CO ₂ H) ₂ (mg/l)	2036,06	350
Alcalinidad Total (mg/l)	1.650	-----
Sólidos Disueltos (mg/l)	5.980	-----
Sólidos Suspendidos (mg/l)	90	60
Sólidos Totales (mg/l)	6.070	-----
Hidrocarburos (mg/l)	53,8	20
PH	8,38	6 - 9
Turbidez (NTU)	78	----

Para acondicionar esta agua, es necesario eliminar tanto los hidrocarburos libres y emulsionados como los sólidos en suspensión, los disueltos, los cloruros y la DQO, además, se requieren de productos químicos acondicionadores para facilitar el tratamiento Biocida, controlando el desarrollo biológico y un anti-incrustante para evitar que las sales del agua precipiten y se depositen. Los ensayos realizados a estas aguas indican que son aguas con una alta cantidad de sólidos disueltos y son de carácter agresivo, ya que presentan un índice de saturación negativo con lo cual será necesario incluir dentro del esquema de tratamiento el uso de un inhibidor de corrosión.

Para el proceso de simulación se tomaron como premisas, las especificaciones técnicas, requeridas por el cliente, en este caso PDVSA, bajo el contrato: Presentación Propuesta Técnico-Económica “Diseño Conceptual de una planta de tratamiento para la disposición final de aguas de producción, provenientes del Campo Aguasay en el Estado Monagas”; que se presentan a continuación:

- La capacidad nominal de la planta de tratamiento de efluentes es de 59,62 m³/h (1430,88 m³/d), en base a información acordada con PDVSA.
- Se considera como químico desmenuficante el propilenglicol (1,2-C3diol) al 100%, y dosificación de 40 ppm en una corriente de 0,36 l/h de solución agua+desmenuficante. (Según información suministrada por el proveedor consultado).
- Se considera como químico floculante el cloruro de aluminio (AlCl₃) al 50%, y dosificación de 50 ppm en una corriente de 1,25 l/h de solución agua+floculante. (Según información suministrada por el proveedor consultado).
- Se considera como químico para ajustar el pH, la soda cáustica al 45%, y dosificación de 5,6 l/h, para un pH inicial de 4,4 unidades. (Según información suministrada por el proveedor consultado).
- La solución de nutrientes a suministrar en los reactores son dos: la primera correspondiente a una solución de fósforo al 10% en peso, basado en fertilizantes 10-10-10. La dosificación es de 25 ppm en una corriente de 40 l/h, y la segunda una solución de Urea (42% de Nitrógeno) mezclando 2,98 kg de Úrea por 100 l de agua, lo cual equivale a una corriente de 15 l/h al 20% en peso. (Según información suministrada por el proveedor consultado).
- La solución de hipoclorito inyectada en el Tanque de Desinfección TK-1841 es al 10% de concentración, y dosificación de 5 ppm en una corriente de 0,625 l/h.
- La corriente de salida de la Planta de tratamiento Aguasay, será enviada hacia el canal pluvial, bajo especificación exigida por el decreto n° 883.
- Las condiciones de descarga de las bombas de transferencia de La Planta de Tratamiento hacia el canal pluvial, se consideran las siguientes: 261 gpm, 95,25 °F y 105 psig (De acuerdo a Simulación del Proceso).

- La eficiencia de remoción de hidrocarburos de las unidades de flotación DAF es del 90% y se remueven 6 ppm de DQO por cada ppm de hidrocarburo removido.
- Para mejorar la eficiencia de separación de los lodos en el filtro prensa, se inyecta una solución de polielectrolito (AlCl_3), al Tanque Floclador.
- La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos de las Unidades de Flotación DAF es del 80%.
- El valor de DQO a la salida de los Reactores Biológicos es < 170 ppm y de los solidos disueltos es de 2600 ppm, en el que se elimina un 80% y 45% respectivamente de cada parametro mencionado.
- Las tres (03) etapas del proceso de tratamiento de efluentes: eliminación de hidrocarburos, ajuste de las variables biológicas y ajuste de sólidos suspendidos-desinfección son continuas; sin embargo el filtro prensa que recibirá los lodos provenientes del Digestor se diseñará para operar 8 horas al día..
- La presión de operación del agua presurizada hacia las Unidades DAF es de 60 lpca, luego de ser tomada a 100 lpca de las líneas de aire de servicio.
- La recirculación (agua presurizada) en las Unidades de Flotación DAF es el 40% del flujo de entrada correspondiente.
- La caída de presión máxima a través de los Filtros de Arena – Antracita para hacer el retrolavado será de 15 lpca.
- Las propiedades mostradas en este se utilizarán para el dimensionamiento de equipos, líneas, especificaciones de instrumentos; así como establecer las condiciones de operación y diseño de cada uno de estos.

La simulación de los procesos de la planta de tratamiento de agua de producción a instalarse en el Centro Operativo Aguasay, se basó principalmente, en las tres fases transformadoras de la entrada del sistema; en función de los parámetros que exige la norma ambiental vigente que rige la materia, para este caso el decreto N° 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”. La composición del efluente, los productos de cada fase y los valores límites de la norma, se expresan a modo de resumen en la tabla expuesta a continuación:

Tabla 4.10 Caracterización de fases

Parámetro	Efluente	Producto de la 1^{era} Fase	Producto de la 2^{da} Fase	Producto de la 3^{era} Fase	Limites Permisibles
Sólidos suspendidos (Ca) (ppm)	90	18	4	4	60
Cloruros (NaCl) (ppm)	2283	2282	2281	502	1000
DQO (CH ₂) ₄ (CO ₂ H) ₂ (ppm)	2036.06	1746	1744	171	350
Hidrocarburos (ppm)	53.67	5	0.54	0.54	20

Tabla 4.10 (Continuación)

Parámetro	Efluente	Producto de la 1 ^{era} Fase	Producto de la 2 ^{da} Fase	Producto de la 3 ^{era} Fase	Límites Permisibles
Agua (H ₂ O) (ppm)	-----	-----	-----	-----	-----
Sólidos Disueltos (HNO ₃)(ppm)	5980.04	5980.04	5980.04	2618	N/A
Bicarbonatos (ppm)	1650	-----	-----	-----	-----
Sólidos Totales	6070.04	5999	5999	2622	N/A
Ph	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38

Para el caso de los bicarbonatos, los mismos no fueron incluidos en la corriente del simulador, debido a que la norma no establece límites permisibles de vertido al ambiente en función de ellos; sin embargo la proporción de estos en el total del efluente se tomo como volumen de agua. para efectos de la simulación en el programa HYSYS 3.2

En el mismo orden de ideas, se presenta el comportamiento que sufrió el efluente durante la simulación de las fases de clarificación, esto reflejado en cada columna de la tabla expuesta anteriormente:

Efluente: Se refiere a los valores reflejados en la columna, que vienen a ser, las características iniciales de la corriente de agua de producción a tratar, obtenidas a través de un estudio realizado para establecer las bases y premisas de diseño del proyecto y provienen, de los procesos que se llevan a cabo en los eliminadores de agua libre y los tratadores térmicos de las estaciones de flujo Aguasay 4-A, Aguasay

5A, Caro y Carisito; en el centro operativo Aguasay, Municipio Aguasay, Estado Monagas, los cuales actúan como equipos para separar y deshidratar el crudo en función de su calidad.

A esta corriente de entrada, se le aplicaron los procesos de clarificación del agua, los cuales podemos resumir en tres etapas, como eliminación de hidrocarburos, ajuste de variables biológicas y por último el ajuste de sólidos disueltos en el agua. A manera de comparación, se tabularon los datos para observar cuales parámetros y en qué porcentaje van disminuyendo, a medida que avanza el proceso por todas las fases de separación que comprende el diseño de la planta de tratamiento, hasta que puedan estar bajo especificación exigida por la norma ambiental vigente que rige la materia, para este caso el decreto N° 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”.

Producto de la 1^{era} fase: La finalidad de esta etapa fue reducir en un 90 % la concentración de hidrocarburos, 80% los sólidos en suspensión y el DQO en una relación de 6 ppm de DQO / 1 ppm de hidrocarburos removidos presentes en el agua sometida a tratamiento, mediante el uso de equipos separadores de placas como el CPI (Interceptor de Placas Corrugadas), escogido a través de una matriz de selección en el primer objetivo del proyecto, gracias a sus ventajas de separación.

Los efluentes del Centro Operativo Aguasay recolectados en los tanques de almacenamiento principales a la entrada de la planta, fueron bombeados para dosificar al sistema de separación CPI a una tasa de 59,62 m³/h mediante las bombas de entrada a la planta de tratamiento. En el CPI se llevo a cabo la primera fase de separación de hidrocarburos, sólidos suspendidos y DQO, enviando estos a el tanque de aceites recuperados para su posterior traslado a separadores API, este equipo tiene una eficiencia de operación del 80% y está conformado por un Empaque de Placas

inclinadas a 45° que permitió la separación de los hidrocarburos, sólidos suspendidos y disminución de la Demanda Química de Oxígeno por acción de la gravedad.

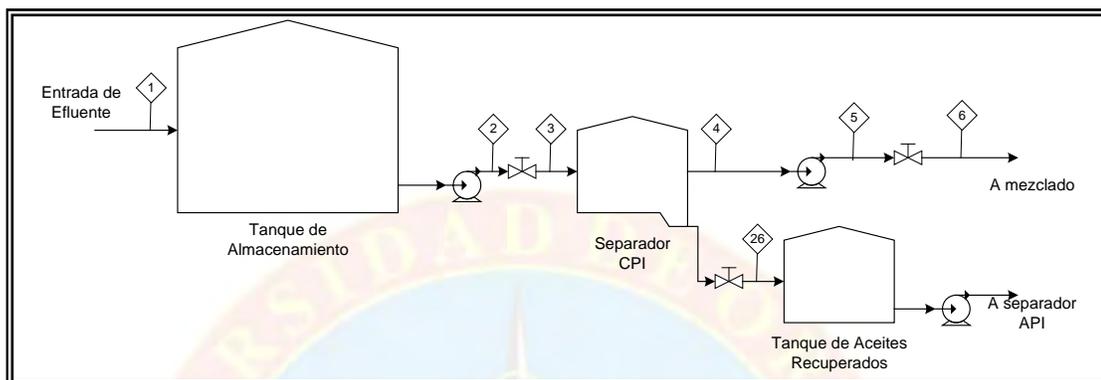


Figura 4.9 Fase de separación primaria

Producto de la 2da fase: En la segunda fase, posterior a la incorporación de los productos químicos como floclulantes, desemulsificante y soda cáustica que modificaron propiedades del efluente en los tanques de mezcla antes del DAF para facilitar los procesos, se unió la separación de hidrocarburos con el control de las variables biológicas. El equipo de flotación por aire disuelto contribuyó con la separación de hidrocarburos y sólidos suspendidos, para luego seguir a los reactores quienes desarrollaron el tratamiento biológico, para remover los sólidos no sedimentables y la carga orgánica (DBO, DQO) disuelta en el efluente. Siendo los microorganismos, responsables de la degradación de la materia orgánica y de la estabilización de los desechos orgánicos.

La fase comenzó con una entrada del efluente al DAF, donde se elimina un 90% de hidrocarburo y 80% de sólidos suspendidos, para luego ser canalizado por gravedad hacia un sistema de tratamiento biológico donde bacterias de tipo aeróbicas, permiten remover el 80% del oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene el agua, (DQO) y un 45% de sólidos disueltos como NaCl. Este sistema está constituido por el DAF, Sopladores,

Reactores Biológicos, Sedimentador de lodos, un Tanque de recolección de lodos, un Digestor de lodos y un Filtro prensa.

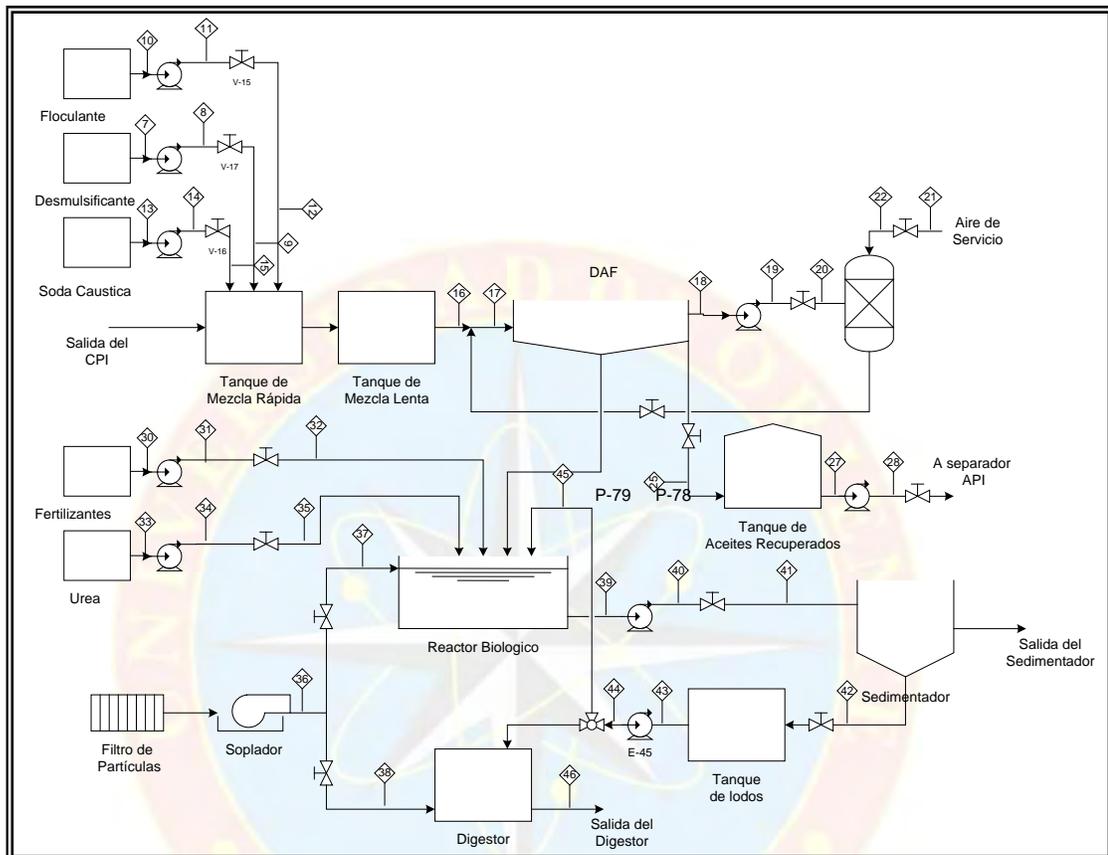


Figura 4.10 Fase de separación secundaria

Producto de la 3era fase: Esta etapa se hace la desinfección del agua mediante la adición de hipoclorito de sodio al Tanque de desinfección, y la eliminación de los sólidos en suspensión por los filtros de arena y antracita, mediante las bombas de transferencia. La adición de hipoclorito de sodio fue al 10% mediante un paquete de inyección de químico, conformado por un tanque atmosférico y unas bombas de inyección de 35 psig de presión de descarga.

Los filtros de arena y antracita, están provistos de un retrolavado automático, que permite la remoción en un 80% de sólidos en suspensión que no pueden ser

retenidos, en procesos previos. Estos equipos se basan en el principio de hidrodinámica, adhesión y atracción molecular para atrapar contaminantes, finalmente el agua filtrada se bombea hacia el canal pluvial.

Por último en el proceso, los analizadores instalados en la tubería de salida de la planta de tratamiento indicaran la concentración de hidrocarburos y DQO, si están fuera del rango permitido ($DQO > 350$ y concentración de crudo >20 ; Decreto 883), entonces el agua retornará hacia el tanque de almacenamiento principal para su reprocesamiento. La medición de sólidos disueltos no será necesaria ya que los mismos son de origen orgánico y no conductivo.

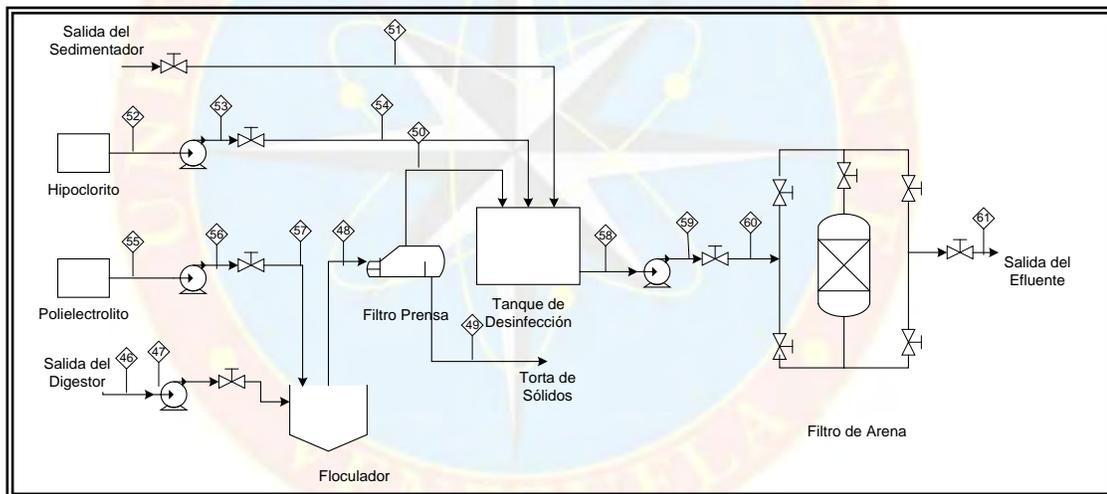


Figura 4.11 Fase de separación terciaria

Luego de haber presentado por separado las tres distintas fases de clarificación a las cuales serán sometidos los efluentes de la planta de tratamiento del centro operativo Aguasay, se obtuvo el balance de energía producto de la simulación realizada por medio del software HYSYS 3.2 y el diagrama de flujo de proceso (DFP) los cuales se presentan en el **Apéndice B**.

4.3 SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS Y SU UBICACIÓN EN EL ÁREA DISPONIBLE DEL CENTRO OPERATIVO AGUASAY

Tanto la selección de las dimensiones de los equipos como su ubicación en el área donde se planifica su instalación es de vital importancia en el proceso de diseño ya que al ser establecidas se pudo conocer data como los caudales que se van a procesar, caudales a clarificar, presiones, temperaturas, cantidades de químicos a usar, las cantidades de residuos que se obtendrán de los procesos químicos, físico químicos, de control biológico y aun mas importante, las necesidades industriales como el aire para operaciones, la electricidad para los equipos y los costos de todo lo antes mencionado.

A través del primer objetivo de la investigación conocimos los equipos que fueron seleccionados por el equipo multidisciplinario de ORICONSULT.C.A gracias al uso de matrices, donde se estudiaron distintas variables y parámetros de cada uno buscando la efectividad de los procesos. Estos equipos fueron desglosados en sus principales ventajas y desventajas para observar las necesidades de cada uno, y realizar con éxito la selección de lo que contendrá el diseño de la planta de tratamiento de efluentes de Aguasay.

Luego de conocer todos los mecanismos necesarios para el funcionamiento de cada uno de los equipos de manera optima, se procedió a introducir toda la data necesaria en los simuladores de procesos con el fin de obtener resultados que nos permitan tanto predecir el comportamiento del sistema en distintas situaciones y configuraciones como también mejorar los diseños en base a los datos que obtenemos de cada proceso en particular con la finalidad de minimizar el riesgo de efluentes fuera de especificación lo cual nos puede llevar a amonestaciones por parte de la

administración, quien nos exige alcanzar los estándares colocados por los diferentes departamentos gubernamentales que rigen la materia.

A continuación se muestra una tabla donde listan los equipos que conforman la planta de tratamiento de efluentes de Aguasay; en esta tabla se indican las dimensiones de cada uno de ellos con la cantidad de unidades por cada uno, las dimensiones de los mismos están siendo calculadas por diferentes bibliografías entre las cuales se pueden citar principalmente el “MANUAL DE PROCESOS DE PDVSA (MDP)” específicamente en la norma “MDP – 09 – EF – 05” la cual se refiere a él “DISEÑO CONCEPTUAL DE TECNOLOGIAS DE CONTROL DE EFLUENTES” y también el manual de NALCO “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES”.

Tabla 4.11 Definición de dimensiones de equipos

N	Equipo	Función	Capacidad de manejo	Alto (m)	Largo (m)	Ancho (m)
2	Tanque de Almacenamiento	Almacenaje de Efluente		7,30	---	12,5
1	Interceptor de placas CPI	Separador Físico		2	2.15	2.15
1	Tanque Desemulsificante	Tanque de química		1,36	---	1,00
1	Tanque de floculantes	Tanque de química		2,05	---	1,5
1	Tanque de fertilizantes	Tanque de química		6,52	---	4,,30
1	Tanque de soda Caustica	Tanque de química		3,38	---	2,30
1	Tanque de Poli electrolito	Tanque de química		1,70	---	1,15
1	Tanque de Urea	Tanque de química		4,70	---	3,20

Tabla 4.11 (Continuación)

Nro	Equipo	Función	Alto(m)	Largo(m)	Ancho(m)
1	Tanque de Hipoclorito	Tanque de química	1,63	---	1,10
1	Tanque de Mezcla Rápida	Mezclado de química	2,6	---	1,8
1	Tanque de Mezcla Lenta	Mezclado de química	2,6	---	1,8
1	Tanque DAF	Separación Físico Química	3,2	---	4,74
1	Tanque Presurización	Presurización del DAF	2,47	---	1,00
1	Tanque Presurización	Presurización del DAF	2,47	---	1,00
1	Tanque Aceites recuperados	Almacenamiento Aceites	2,30	---	1,92
2	Reactor Biológico	Ajuste Biológico	3,00	4,7	3,00
1	Sedimentador	Separador Mecánico	1	3	2
1	Tanque Digestor	Ajuste de Biológico	3,00	2,40	1,00
1	Tanque Floculador	Ajuste de Variables Biológicas	2,6	---	2,4
1	Tanque de desinfección	Ajuste de Variables Biológicas	1,5	10	3,00
4	Filtro de Arena	Separación Mecánica	1,8	---	1,2
1	Filtro Prensa	Separación Mecánica	2	4	2
1	Sopladores	Ajuste Variables Biológicas	1	4	4
1	Tanque de Trietanolamina	Tanque de química	1,00	---	0,50

Luego de establecer las dimensiones de los equipos que conforman el diseño de la planta de tratamiento de efluentes y de especificar la cantidad de unidades por cada uno de ellos se procedió a ubicarlos tomando en cuenta la secuencia de procesos que llevan, el recorrido de tuberías de alimentación y descarga, necesidades de bombeo, control de flujo, y accesibilidad para el retiro de material de desecho. Para la ubicación de la planta una de las opciones al momento de su implantación es que

tenga inclinación de forma descendente desde los tanques de almacenamiento hasta la ubicación del filtro de arena, con la finalidad de reducir costos a nivel de accesorios de restricción y control, accesorios para bombeo del flujo y sobre todo del recurso humano quedando de esta manera el sistema automatizado y con un mínimo porcentaje de error en los procesos.

La ubicación de los equipos se realizó en un plano siguiendo lo anteriormente descrito, dicho plano hizo referencia a una área a utilizar de 1925 m^2 en donde 55 m son de longitud y 35 m de ancho que cubre el diseño, el terreno que se piensa usar para el emplazamiento de la planta será justo al lado del centro operativo Aguasay con salida al ambiente razón por la cual el diseño se basó en el Decreto N° 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”. Cabe mencionar, que el plano de ubicación de equipos se puede observar igualmente en el **Apéndice C**.

4.4 ELABORACIÓN LOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LA RED DE TUBERÍAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO A TRAVÉS DEL SIMULADOR PIPEPHASE

Seguidamente se muestran los cálculos que soportan el dimensionamiento de las tuberías de procesos principales; a instalarse en la Planta de Tratamiento de efluentes Aguasay, asociado al Proyecto: “Diseño conceptual de una planta para el tratamiento y disposición final de aguas de producción, provenientes del campo Aguasay en el estado Monagas.

Los cálculos de Ingeniería para especificar las tuberías de entrada y salida de la Planta de Tratamiento; así como las correspondientes a la descarga de hidrocarburo

recuperado y la de aire a 60 lpc para el tanque de presurización, cumplieron con las Normas PDVSA en lo concerniente a velocidades (gas, líquido, mezcla, erosión) y caída de presión. Los diámetros fueron evaluados en función del flujo volumétrico, presión, temperatura y longitud de la tubería utilizando el Simulador PIPEPHASE 9.0.

Las premisas consideradas como base para la realización de los cálculos hidráulicos de las diferentes tuberías dimensionadas, fueron las siguientes:

Premisas generales

Todo diseño debe cumplir con el criterio más riguroso o la condición más desfavorable de operación, de tal forma que la ocurrencia de menor magnitud quede solapada.

Las condiciones de diseño de la tubería, incluyendo temperatura y presión, están de acuerdo con los requerimientos de la norma PDVSA 90616.1.024 “Dimensionamiento de Tuberías de Proceso” ó PDVSA L-TP-1.5 “Cálculo hidráulico de tuberías”, la que aplique de acuerdo al servicio y ubicación de la línea.

La velocidad máxima en líneas bifásicas no deberá exceder la velocidad de límite erosional, estimada según la siguiente ecuación para servicios continuos dados en la Norma API RP 14 E sección 2.5 y norma PDVSA 90616.1.024:

$$Ve = 100 / \sqrt{\rho_m}$$

Donde:

ρ_m : Densidad de la mezcla a condiciones de operación en Lb/ft³

Se estimo un 20% adicional en los tramos de longitudes de tuberías, para determinar la caída de presión en válvulas y accesorios no considerados..

El dimensionamiento de las tuberías internas pertenecientes al paquete serán definidas por el proveedor, ya que esta es una ingeniería de tipo conceptual y no de detalle ni construcción, sin embargo se hacen los dimensionamientos de las tuberías que representan las salidas del sistema, como las salidas de aceites recuperados, la entrada y salida del sistema como tal y la entrada de aire a el DAF.

Como referencia para el dimensionamiento de las líneas acá se colocaron los estándares de velocidades típicas de los líquidos en tuberías de acero con la finalidad de tener valores de guía para establecer comparaciones y escoger la mejor configuración posible.

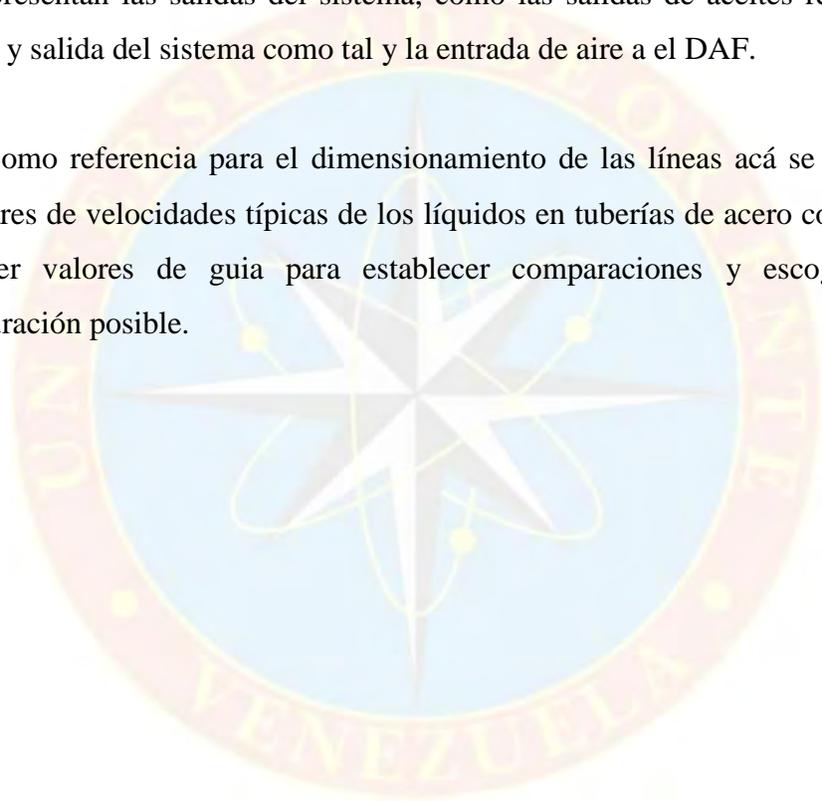


Tabla 4.12. Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero

Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero			
LÍQUIDO Y LÍNEA	Diámetro Nominal de Tubería (pulgadas)		
	2 o menor	3 a 10	10 a 20
	Velocidad (pie/s)	Velocidad (pie/s)	Velocidad (pie/s)
AGUA			
Succión de bomba	1 a 2	2 a 4	3 a 6
Descarga de bomba (larga)	2 a 3	3 a 5	4 a 6
Conexiones de descarga (corta)	4 a 9	5 a 12	8 a 14
Alimentación de caldera	4 a 9	5 a 12	8 a 14
Drenajes	3 a 4	3 a 5	–
Aguas negras inclinadas	–	3 a 5	–
HIDROCARBUROS LÍQUIDOS (Viscosidades normales)			
Succión de bomba	1,5 a 2,5	2 a 4	3 a 6
Cabezal de descarga (largo)	2,5 a 3,5	3 a 5	4 a 7
Conexiones de descarga (corta)	4 a 9	5 a 12	8 a 15
Drenajes	3 a 4	3 a 5	–
HIDROCARBUROS VISCOSOS			
Succión de bomba			
Viscosidad mediana (150 a 400 Cps)	–	1,5 a 3	2,5 a 5
Alquitrán y aceites combustibles	–	0,4 a 0,75	0,5 a 1
Descarga (corta)	–	3 a 5	4 a 6
Drenajes	1	1,5 a 3	–

Fuente: Norma PDVSA 90616.1.024 “Dimensionamiento de tuberías de proceso”

Tabla 4.13. Criterios hidráulicos para fluidos dinámicos.

Caídas de presión recomendadas	
SERVICIO	CAIDA DE PRESIÓN Lpc/100 pie de tubería
Línea de Transferencia	0,5 - 2
Compresor (psig)	
Succión, 0 – 10	0,05 – 0,125
10 – 50	0,125
50 -150	0,3 (Norma L-TP-1.5)
Por encima de 200	0,5
Descarga, por debajo de 50	0,125 – 0,25
50 -100	0,25 – 0,5
Por encima de 200	0,5 – 1,0
Cabezales de Alivio y Venteo	Mach \leq 0,5

Fuente: Norma PDVSA 90616.1.024 “Dimensionamiento de tuberías de proceso”

Tabla 4.14 Velocidades típicas en líneas de gases y vapor.

Velocidades Típicas en Líneas de Gases y Vapor			
Diámetro Nominal de Tubería (Pulg)	Vapor de Agua o Vapor Saturado Por debajo de 50 Lppcm Veloc. (pie/s)	Vapor de Agua y Vapor Sobrecalentado, gas	
		5 a 150 Lppcm Veloc.(pie/s)	150 a 250 Lppcm Veloc.(pie/s)
2 o menor	45 a 100	40 a 80	30 a 60
3 a 4	50 a 110	45 a 90	35 a 70
6	60 a 120	50 a 120	45 a 90
8 a 10	65 a 125	80 a 160	65 a 125
12 a 14	70 a 30	100 a 190	80 a 145
16 a 18	75 a 135	110 a 210	90 a 160
20	80 a 140	120 a 220	100 a 170

Fuente: Norma PDVSA 90616.1.024 “Dimensionamiento de tuberías de proceso”

Fórmulas utilizadas

La ecuación básica para el cálculo de caída de presión para circulación de fluidos en tuberías entre dos puntos (1 y 2) y accesorios es la ecuación de Bernoulli generalizada, la cual asume densidad constante:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_L$$

V: Velocidad del fluido (pie/s)

$\rho_{1,2}$: Densidad del fluido (lbs/pie³)

Z₁: Altura del punto 1 (Pie)

Z₂: Altura del punto 2 (Pie)

g: gravedad (Pie/seg²)

P₁: Presión requerida (psig)

P₂: Presión de operación del recipiente de descarga (psig)

h_L: Pérdidas por fricción.

Velocidad erosional

Para el diseño de tuberías que manejan gases y/o fluidos multifásicos se debe calcular la velocidad erosional con el fin de comprobar que la velocidad del fluido en la tubería no sobrepase el 60 % de ésta.

$$V_s = \frac{C}{\sqrt{\rho_m}}$$

C: 100 para servicio continuo y 125 para servicio no continuo

ρ_m : Densidad de la Mezcla (lb/pie³)

V_s: Velocidad Erosional (pie/s)

Si los valores de velocidad y caída de presión en la tubería se encuentran en los rangos establecidos en las normas de diseño de tuberías para cada fluido en estudio, entonces el diámetro inicialmente supuesto es correcto y se finaliza el procedimiento.

Longitudes de tramos

Las longitudes se determinan en función del levantamiento de información en campo y de los planos de ubicación de equipos del centro operativo Aguasay.

Diámetros de los tramos

Los diámetros son determinados con el Simulador PIPEPHASE 9.0 y deben cumplir con los parámetros de caída de presión y velocidad lineal de acuerdo a las directrices de la Norma PDVSA L-TP-1.5 “Cálculo Hidráulico de Tuberías” y 90616.1.024 “Dimensionamiento de Tuberías de Proceso”.

Caídas de presión y velocidades

Para las caídas de presión y velocidades permisibles en tuberías se tomo como base la Norma PDVSA L-TP-1.5 “Cálculo Hidráulico de Tuberías” y 90616.1.024 “Dimensionamiento de Tuberías de Proceso”.

Composición de las corrientes

La composición del agua efluente se definió en base al modelo de simulación Composicional y al tipo de fluido líquido. Se seleccionó en la librería de componentes el agua (100%) y la composición del hidrocarburo recuperado se definió en base al modelo de simulación Composicional y al tipo de fluido líquido. Las

propiedades del hidrocarburo recuperado asumidas es de $47,43 \text{ lb/pe}^3$, viscosidades de $67,61 \text{ cP}$ a $80 \text{ }^\circ\text{F}$ y $36,94 \text{ cP}$ a $100 \text{ }^\circ\text{F}$.

La composición del aire se definió en base al modelo de simulación Composicional y al tipo de fluido gas. Se seleccionó en la librería de componentes el aire (100%).

Flujos volumétricos

En los cálculos se toma como base, la volumetría de líquidos de efluentes a tratar suministrada por PDVSA GAS de $59,62 \text{ m}^3/\text{h}$, para el caso del hidrocarburo recuperado se toma el flujo estimado para la bomba de descarga de 3900 l/h .

Para el caso del aire de instrumentos se toma un flujo estimado de 100 PCEM .

Método de cálculo

Una vez definidas las condiciones de operación: presión, temperatura, flujo, composición, y longitudes de tuberías en base a lo establecido en las secciones anteriores, se procedió a realizar la simulación de las mismas, la cual se llevo a cabo de la siguiente manera:

Se selecciono el tipo de fluido que será transportado a través de la tubería (líquido, mezcla, gas), luego se seleccionaron tanto las unidades de medición en las cuales fueron introducidos los datos y mostrados los resultados como las ecuaciones de flujo para el cálculo de la caída de presión en tuberías, en este caso se emplea la correlación de BBM - Beggs & Brill Moody, la cual es recomendable para el cálculo de las caídas de presión por fricción en tramos rectos de tuberías.

Se introdujeron las propiedades del líquido ó gas (densidad y viscosidad) o caso contrario con sólo definir el componente en el listado disponible en el simulador y se establecen las condiciones de proceso: Presión, Temperatura y Flujo.

Se construyen los modelos de simulación, definiendo el nodo de partida y el nodo de llegada, con sus respectivas conexiones. Dicha conexión será realizada mediante un número de tramos de tuberías y accesorios (válvulas, codos, bombas, válvulas, etc).

Si los valores de velocidad y caída de presión en la tubería se encuentran en los rangos establecidos en las normas de diseño de tuberías para cada fluido en estudio, entonces el diámetro inicialmente supuesto es correcto y se finaliza el procedimiento.

Los reportes de la Simulación Hidráulica, realizados en PIPEPHASE 9.0, se presentan en el **Apéndice D**, mientras que los diagramas de simulación se presentan a continuación con su breve descripción del proceso.

En la primera simulación podemos observar, la entrada de la planta desde los tanques de almacenamiento, su respectiva separación en las tres bombas centrifugas colocadas para la succión y descarga del efluente y su interconexión en un múltiple para llegar al CPI para primera fase de separación

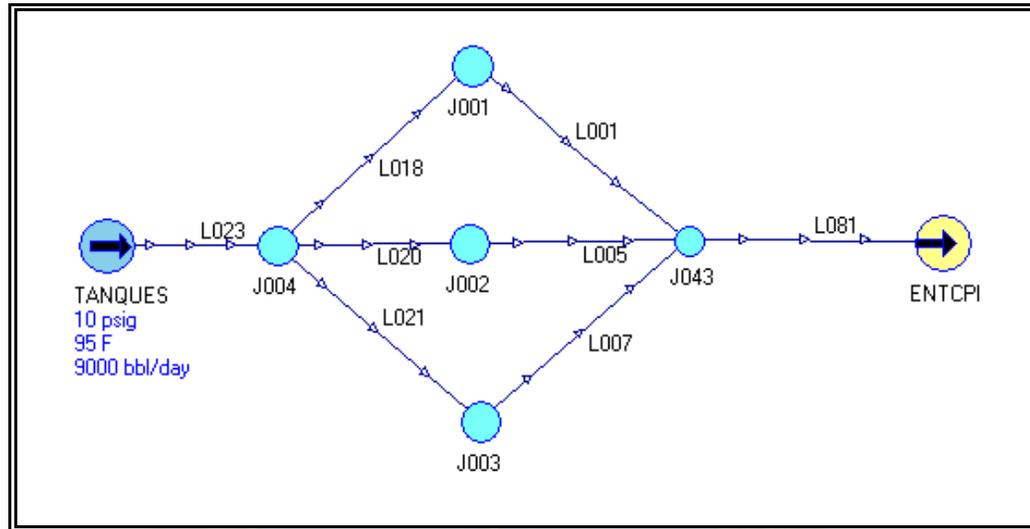


Figura 4.12 Simulación hidráulica de la entrada de la planta

Tabla 4.15 Resultados de la simulación hidráulica de entrada de la planta.

Links	Equipo	D (pulg)	Longitud (m/pie)		Flujo	P i	Pf	Velocidad Líquido	Velocidad Norma PDVSA	ΔP Norma PDVSA	DESDE
					BPD	PSIG	PSIG				
L023	Tubería	4"	15,2	7	9000	10	10	2,93	1 - 3	4	TANQUE PRINCIPAL DE ALMACENAJE
L018 L020 L021	Tubería	4"	15,2	7	3000	10	10	2,21	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	3000	10	10	2,21	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	3000	10	10	2,21	1 - 3	4	-
L001 L005 L007	Tubería	4"	15,2	7	3000	9,9	9,9	2,21	1 - 3	4	-
	Bomba	4"	-	-	3000	9,9	15	2,21	1 - 3	4	-
	Tubería	4"	15,2	10	3000	15	15	2,21	1 - 3	4	-
L081	Tubería	6"	3,05	10	9000	15	15	2,93	1 - 3	4	-
	Codo	6"	-	-	9000	15	14,9	2,93	1 - 3	4	-
	Tubería	6"	4,88	16	9000	14,9	8	2,93	1 - 3	4	--
	Codo	6"	-	-	9000	8	8	2,93	1 - 3	4	-
	Tubería	6"	1,2	4	9000	8	8	2,93	1 - 3	4	ENTRADA A CPI

Para la siguiente simulación, se hizo el estudio de la salida de la planta a partir del tanque de desinfección el cual dará tratamiento a los efluentes que van camino a los filtros de arena y así completar la última etapa de clarificación, el efluente en

caso de estar bajo especificación será dispuesto al ambiente, y en caso de no estarlo, se llevará hasta la entrada de la planta para repetir el proceso y garantizar el producto.

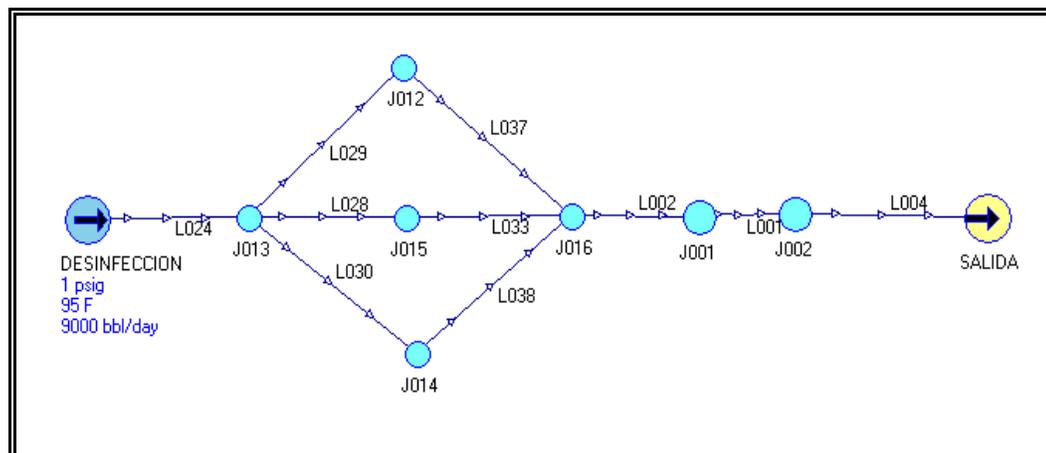


Figura 4.13 Simulación hidráulica de la salida de la planta

Tabla 4.16 Resultados de la simulación hidráulica de la salida de la planta.

Links	Equipo	D (pulg)	Longitud (m/pie)		Flujo			Velocidad Líquido	Velocidad Norma PDVSA	AP Norma PDVSA	DESDE
					BPD	P i PSIG	Pf PSIG				
L024	Tubería	4"	3,05	10	9000	1	1	2,93	1 - 3	4	SALIDA TK DE DESINFECCIÓN
L029 L028 L030	Tubería	4"	2,13	7	2952	1	1	2,13	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	2952	1	1	2,13	1 - 3	4	-
	Tubería	4"	0,30	1	2882	1	1	2,13	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	2882	1	1	2,13	1 - 3	4	-
	Tubería	4"	2,13	7	2882	1	0,9	2,13	1 - 3	4	-
	Bomba	4"	-	-	2882	0,9	25	2,13	1 - 3	4	-
L037 L033 L038	Tubería	4"	2,13	7	3000	25	25	2,34	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	3000	25	25	2,34	1 - 3	-	-
	Tubería	4"	0,30	1	3000	25	25	2,34	1 - 3	4	-
	Codo	4"	-	-	3000	25	25	2,34	1 - 3	4	-
	Tubería	4"	3,05	10	3000	25	24,9	2,34	1 - 3	4	-
L002	Tubería	6"	3,05	10	9000	24,9	24,9	2,93	1 - 3	4	-
	Codo	6"	-	-	9000	24,9	24,9	2,93	1 - 3	4	-
	Tubería	6"	2,13	7	9000	24,9	24,9	2,93	1 - 3	4	-
	Codo	6"	-	-	9000	21,8	21,8	2,93	1 - 3	4	-
	Tubería	6"	0,48	1,60	9000	21,8	21,8	2,93	1 - 3	4	-
L001	Válvula	6"	-	-	9000	21,8	6,8	2,93	1 - 3	4	-
L004	Tubería	6"	3,05	10	9000	6,8	6,8	2,93	1 - 3	4	SALIDA A CANAL PLUVIAL

Ahora para el tanque de aceites recuperados se hizo la siguiente simulación, con el fin de representar la salida de los desechos de los separadores como lo son el CPI y el DAF, estos desechos se dirigen a un separador API en el centro operativo Aguasay, para su respectivo tratamiento, de esta manera se dimensionan las tuberías necesarias para poder controlar la cantidad de desechos y evitar problemas de derrames o problemas de bombeo de los mismos.

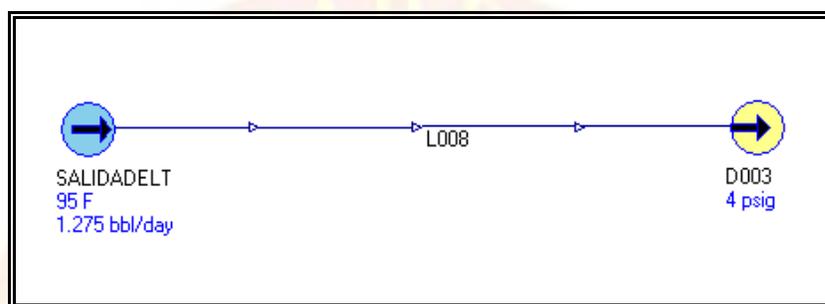


Figura 4.14 Simulación hidráulica salida del tanque de aceites

Tabla 4.17 Resultados de la Simulación Hidráulica de salida del tanque de aceite

Links	Equipo	D (pulg)	Longitud (m/pie)		Flujo	P i	Pf	Velocidad Líquido	Velocidad Norma PDVSA	ΔP Norma PDVSA	DESDE
					BPD	PSIG	PSIG				
L008	Tubería	3	15,2	50	1,275	0,9	0,9	1,6 E-3	1 - 3	4	CABEZAL DE DRENAJE DE TK DE ACEITES
	Codo	3	-	-	1,275	0,9	0,9	1,6 E-3	1 - 3	4	-
	Tubería	3	1,5	5	1,275	0,9	0,9	1,6 E-3	1 - 3	4	-
	Codo	3	-	-	1,275	2,5	2,5	1,6 E-3	1 - 3	4	-
	Tubería	3	15,2	50	1,275	2,5	2,5	1,6 E-3	1 - 3	4	-
	Codo	3	-	-	1,275	2,5	2,5	1,6 E-3	1 - 3	4	-
	Tubería	3	1,5	5	1,275	2,5	4	1,6 E-3	1 - 3	4	DRENAJE PARA BACKUM

Para los distintos servicios industriales y operaciones primordiales de la clarificación será necesario aire de servicio el cual estará contemplado en el siguiente objetivo. En esta simulación se diseñaron las tuberías para llevar el aire de servicio a

los equipos que usan la difusión de el mismo para efectuar la separación de sólidos y materia orgánica de los efluentes de manera efectiva, aquí se envía parte de ese aire por líneas que alimentan el tanque de presurización ubicado junto a los equipos, esto para inyectar este aire al efluente y usar el principio de flotabilidad para una separación efectiva y de alto rendimiento.

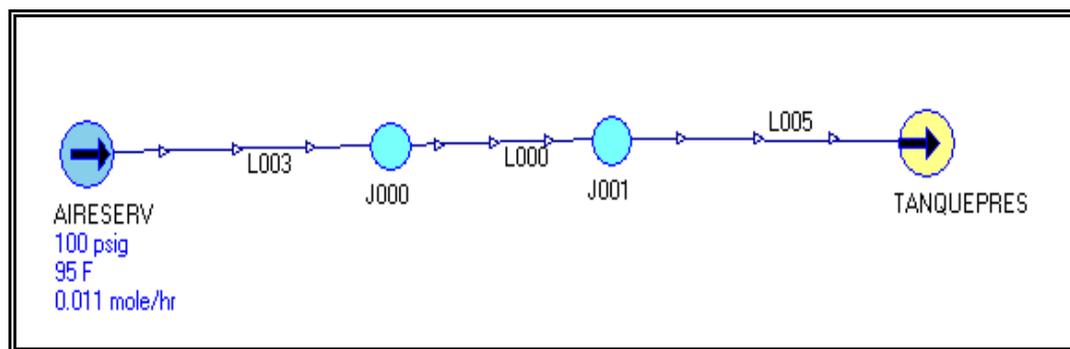


Figura 4.15 Simulación hidráulica suministro de aire servicio

Tabla 4.18 Resultados de la simulación hidráulica del aire de servicio.

Links	Equipo	D (pulg)	Longitud (m/pie)		Flujo	P i	Pf	Velocidad Gases	Velocidad Norma PDVSA	ΔP Norma PDVSA	DESDE
					MMCFD	PSIG	PSIG				
L003	Tubería	1	3,05	10	0,0110	100	100	2,79	45– 100	4	CABEZAL DE DRENAJE DE EL TANQUE
	Codo	1	-	-	0,0110	100	100	2,79	45– 100	4	-
	Tubería	1	3,05	10	0,0110	100	100	2,79	45– 100	4	-
	Codo	1	-	-	0,0110	100	100	2,79	45– 100	4	-
	Tubería	1	21,2	70	0,0110	100	100	2,79	45– 100	4	-
L000	Válvula	1	-	-	0,0110	100	60	2,79	45– 100	4	-
L005	Tubería	1	21,2	70	0,0110	60	60	4,24	45– 100	4	-
	Codo	1	-	-	0,0110	60	60	4,24	45– 100	4	-
	Tubería	1	3,05	10	0,0110	60	60	4,24	45– 100	4	-
	Codo	1	-	-	0,0110	60	60	4,25	45– 100	4	-
	Tubería	1	3,05	10	0,0110	60	60	4,25	45– 100	4	-
	Codo	1	-	-	0,0110	60	60	4,25	45– 100	4	-
	Tubería	1	1,5	5	0,0110	60	60	4,25	45– 100	4	VALVULAS AIRE DE SERVICIO

4.5 EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS AUXILIARES E INDUSTRIALES REQUERIDOS PARA EL ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

De igual manera que en las anteriores secciones, en esta se desarrollo un objetivo de vital importancia para el funcionamiento correcto del sistema como lo es la parte de los servicios auxiliares e industriales, los cuales nos permitieron llevar a cabo todos los procesos de clarificación aportando energía útil y necesaria para el funcionamiento de los equipos dentro de las instalaciones.

Los servicios que se incluyen en la realización de este objetivo tenemos el aire para los instrumentos, el aire de servicio, el paquete de inyección de químicos y seguidamente la energía eléctrica, aquí cada uno de ellos se desglosa según su uso, sus datos técnicos, datos operacionales y las premisas generales para su implantación.

Aire de instrumentos

La presión de operación de la red de aire de instrumentos que alimenta a los equipos de la planta de tratamiento, es de 100 psig a 100 °F. y se estiman 3 PCEM por cada lazo de control neumático de acuerdo a recomendaciones del fabricante.

Se debe garantizar una presión mínima en el punto más alejado de la red de 100 psig.

Se considerará el 10% adicional al consumo, por pérdidas y futura expansión.

Todas las valvulas operan de forma continua y se considera 20% adicional al consumo, por válvulas no consideradas en el diseño.

Tabla 4.19 Estimación de la cantidad y tipo de válvulas por area ó equipos.

Área ó Equipos	Cantidad y Tipo de Válvula (s)	
	Válvula de Tres Vías	Válvula ON-OFF
Sistema de recirculación de Reactores biológicos	1	0
Filtro prensa	0	1
Filtros de arena y antracita	0	12
Salida de planta de tratamiento de efluentes	1	0
TOTAL	2	13

En la Tabla N° 4. 21 se muestra el consumo de aire de instrumentos, tomando en cuenta las premisas anteriores.

Tabla 4.20. Consumo de Aire de instrumentos.

Tipo de Válvula	Cantidad	Consumo por Instrumento (PCEM)	Sub-Total (PCEM)
Tres Vías	2	3	6
ON-OFF	13	3	39
CONSUMO SUB- TOTAL			45
20% CONTINGENCIA			9
10% FUGAS			4,5
CONSUMO TOTAL			58,5

Aire de servicio

La presión de aire requerida para los Tanques de Presurización será de 60 psig.

El Aire de Servicio de los Tanques de Presurización será suministrado desde el cabezal 2" que se encuentra en el centro operativo Aguasay.

Los Reactores Biológicos y el Digestor requieren de aire de servicio a 6 psig para mantener activa la masa biológica (bacterias). Este flujo será suministrado por dos (02) Sopladores de 80 HP c/u, uno (01) en operación y uno (01) de respaldo.

En la Tabla N° 4.22 se muestra el requerimiento de aire de servicio a 60 lpc de los tanques de presurización y para efectos de diseño se toma 1 PCEM como consumo total de aire para los tanques de presurización.

Tabla 4.21. Consumo de Aire de Servicio de Tanques de Presurización

Equipo	Requerimiento de Aire @ 60 psig (PCEM)
TK Presurización DAF	0,2
Total	0,2

En la Tabla N° 4.23, se muestran los requerimientos de aire de servicio a 6 lpc para consumo de los reactores biológicos y el digestor de lodos. El flujo de aire total obtenido será suministrado a través de los sopladores.

Tabla 4.22. Requerimiento de Aire de Servicio de los Reactores y el Digestor.

Equipo	Requerimiento de Aire @ 6 psig (PCEM)
Reactor	11,12
Digestor	16,84
Total	27,96

Inyección de químicos

Debido a que actualmente la planta no contara con los medios para auto-abastecerse de los químicos utilizados en el tratamiento de efluentes, debe realizarse la procura de los mismos considerando un tiempo de reposición de 15 días. Estos químicos serán almacenados en un galpón o depósito perteneciente a un proyecto que se encuentra en ejecución.

En el proceso de mezclado que se lleva a cabo en el Tanque de Mezcla Rápida, se inyectara Propilenglicol de manera de desestabilizar la emulsión y Cloruro de Aluminio ($AlCl_3$) para estimular la formación de flóculos, lo cual se traduce en un incremento de la tasa de remoción de DQO y sólidos en el equipo. Así mismo, se inyectara soda cáustica con el objetivo de ajustar el pH de la corriente de entrada.

En la etapa de “Ajustes de las Variables Biológicas” se inyectaran nutrientes, a una tasa proporcional al flujo proveniente del DAF , esto es con la finalidad de mantener activa la masa biológica (bacterias).

En la etapa de “Ajuste de Sólidos y Desinfección” del tratamiento se inyecta Hipoclorito de Sodio para alcanzar una concentración residual, la cual evita la proliferación de microorganismos indeseables presentes en el agua.

Se considera como químico Desemulsificante el Propilenglicol (1,2-C3diol) y se inyecta a una concentración del 100%, a razón de 1,7170 l/h.

Se considera como químico Floculante el Cloruro de Aluminio ($AlCl_3$) y se inyecta a una concentración del 50%, a razón de 5,962 l/h.

Se inyectan 26,70 l/h de solución de Soda Cáustica al 45% para control de PH.

Los Nutrientes a suministrar en los Reactores Biológicos, son: Fertilizantes en solución al 10% en peso, y una solución de Úrea al 20% en peso, con una dosificación de 25 ppm en una corriente de 190,78 l/h y 71,54 l/h respectivamente.

La solución de Hipoclorito inyectada en el Tanque de Desinfección es de 10% y se inyectan 5 ppm que equivale a 2,98 l/h.

Como agente coagulante de los lodos en el proceso de Filtrado se añadirán a los lodos provenientes del Digestor una solución de Polielectrolito al 100%, a razón de 3,33 l/h y como ayuda a los procesos anticorrosivos se agrega trietanolamina en una proporción de 0,29 l/h.

Como anteriormente se describió, la planta necesitara la procura de los químicos para las etapas de saneamiento, donde se establece como periodo 15 días, a continuación se muestran los calculos necesarios para la tasa de aplicación de cada uno de los químicos en la planta de tratamiento por el periodo establecido sin que existan problemas de desabastecimiento de los mismo.

Tabla 4.23 Dosificación de Químicos de la Planta de Tratamiento.

N°	Nombre del Químico	Servicio	Dosis	Consumo Estimado (Nota 1)	
			l/h	(l)	(gal)
1	Propilenglicol (100%)	Desemulsificante	1,71	616	162,7
2	Cloruro de Aluminio (50%)	Floculante	5,96	2146	566,91
3	Soda Cáustica (Sol 45%)	Control de pH	26,70	9612	2539,2
4	Fertilizantes (10%)	Nutrientes	190,78	68680	18143
5	Úrea (Sol 20%)	Nutrientes	71,54	25764	6806
6	Polielectrolito (100%)	Floculante	3,33	1198	316
7	Hipoclorito de Sodio (10%)	Desinfección	2,98	1072	284
8	Trietanolamina	Anti incrustante	0,29	104,4	27,6

Electricidad

Aquí se presentan los requerimientos de potencia eléctrica (HP/KW) y tensión (V) de cada una de las bombas y/o paquetes (accionadas) por motor eléctrico pertenecientes a la planta de tratamiento.

En la Tabla N° 4.25 se presentan los requerimientos de potencia eléctrica (HP/KW) y tensión (V) de cada una de las bombas y/o paquetes (accionadas por motor eléctrico) pertenecientes a la Planta de Tratamiento de Efluentes.

Tabla 4.24 Consumo de carga (HP/Kw) y tensión (V) por equipos de motor eléctrico de la planta de tratamiento de efluentes.

Descripción	N° de unidades	Filosofía		Consumo de Electricidad (HP/kW)	Tensión (V)
		Operativa	Respaldo		
Bombas TK de almacenamiento	4	3	1	1,5/1,6	480
Bombas Floculante	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Soda Cáustica	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Fertilizante	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas de Hipoclorito	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Desemulsificante	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Urea	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Polielectrolito	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Trietanolamina	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas Aceite Recuperado	2	1	1	1,5/1,6	480
Bomba Recirculación DAF	2	1	1	3/3,2	480
Bombas Tanque de Lodos	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas del Digestor	2	1	1	0,5/0,53	480
Bombas del Reactor	4	3	1	1,5/1,6	480

Tabla 4.24. (Continuación).

Descripción	N° de unidades	Filosofía		Consumo de Electricidad (HP/kW)	Tensión (V)
		Operativa	Respaldo		
Bombas de Transferencia	4	3	1	5/5,33	480
Sopladores	2	1	1	80/74,6	480
Agitador Mezcla Rápida	1	N/A	N/A	3/3,2	480
Agitador Mezcla Lenta	1	N/A	N/A	0,5/0,53	480
Agitador Tanque Flocculador	1	N/A	N/A	0,5/0,53	480
Motor Filtro Prensa	1	N/A	N/A	2/2,13	480

Todos los equipos que componen las fases de separación operaran de forma continua (24 h) excepto las bombas de aceite recuperado que operarán una vez por semana para el vaciado del tanque de aceites recuperados; las bombas del digestor, el agitador del filtro prensa y el motor del filtro prensa que operarán 8 horas diarias.

Pea la culminación de la evaluación de los servicios y requerimientos del sistema se procedio a la realización de una estimación de costos clase V para el diseño de la planta de tratamiento donde se incluyen factores de gran importancia como, la Ingeniería Conceptual, Procura, Construcción, Arranque y Supervisión por parte de ORICONSULT C.A “Diseño de una planta para el tratamiento y disposición final de aguas de producción provenientes del campo Aguasay en el estado Monagas”, los costos asociados para el proyecto propuesto se especificaron uno a uno en la Tabla Estimado de Costo Clase V.

Tabla 4.25 Análisis de costos clase V.

Actividad	Diseño (M BS. F.)
INGENIERÍA	954
PROCURA	4.800
CONSTRUCCIÓN	3.590
ARRANQUE	112,50
GESTIÓN Y SUPERVISIÓN ORICONSULT	195,250
TOTAL	9651,75

La evaluación económica de este proyecto no resulta tan importante con respecto a otras evaluaciones como producción de crudo o gas, por ser proyectos de menor costo asociadas a aguas de producción, sin embargo, si no se presenta un buen control del manejo de esta agua, no se diseñan los sistemas de acuerdo a los aumentos de volumen y no se realiza una buena evaluación económica para el diseño de un sistema de tratamiento, podría afectar la producción del crudo con el proposito de no rebasar las capacidades de manejo, proseguir con el deterioro del ambiente ya que el agua sale fuera de especificación lo que traería como consecuencia sanciones legales a la empresa en cuanto legislaciones ambientales e incumplimiento del Decreto 883.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para los procesos de escogencia de equipos de equipos, son de vital importancia el desarrollo de matrices que permitan la selección del más idóneo.

Fue necesario incluir dentro del sistema un inhibidor de corrosión, ya que el estudio del agua indica una alta cantidad de sólidos disueltos presentando un alto índice de saturación negativo.

Ser responsable de la degradación de la materia orgánica, de su estabilización y remoción hace de la segunda fase de separación la etapa más importante en el proceso de clarificación de efluentes.

El éxito de la tecnología para el tratamiento de la planta, se baso en que los equipos elegidos formen un engranaje que técnica, económica y ambientalmente sea viable.

El emplazamiento del sistema de tratamiento en un terreno con inclinación reduce las necesidades de bombeo y control de los efluentes.

Para solapar la mínima ocurrencia de problemas operacionales en menor magnitud, el diseño debe hacerse bajo la condición más desfavorable de operación.

El diseño de los tanques de química de la planta evita fallos en las operaciones del sistema, por su capacidad de dosificación de 15 días continuos.

Por ser una ingeniería conceptual y no de detalle n el cálculo de aire para instrumentos se hizo un sobre diseño de 20% más por equipos no considerados en esta fase del proyecto.

Para evitar problemas en el transporte de fluidos, en el diseño de las tuberías la velocidad de fluido no debe superar el 60% de la velocidad erosional calculada para el sistema.

RECOMENDACIONES

Se debe llevar a término la ingeniería básica y de detalle, con el propósito de verificar posibles mejoras para el diseño final.

Realizar con la ingeniería de detalle, los cálculos hidráulicos de las tuberías que interconectan los equipos de las tres fases de depuración ya que en la conceptual solo se calcularon las entradas y salidas.

Para el diseño de la planta, considerar en las bombas un equipo de respaldo en caso de posibles daños mecánicos que no se puedan solventar rápidamente.

En el diseño de la instrumentación, colocar sensores en la salida de la planta que verifiquen la salida del efluente.

Planear la ubicación de la planta en un área con inclinación con el propósito de reducir las necesidades de bombeo del efluente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO Y. (2006). *Calidad del agua de inyección*. Trabajo de grado, Universidad de Oriente (U.D.O.) Venezuela.
- ARIAS, F. (2004). *El proyecto de investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Editorial Epistame; 4^{ta} Edición. Caracas – Venezuela.
- DECRETO No. 883. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Octubre 11, 1995). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 35.445.
- DECRETO No. 2.216. Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial e industrial. (Abril 23, 1992). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 33.625.
- EL AYSAMI, E. (2008). *Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de agua asociado a la extracción de crudo del área Sanvi Guere distrito San Tome*". Trabajo de grado, Universidad de Oriente (U.D.O.) Venezuela.
- ESSENTIAL EXPERTISE FOR WATER, ENERGY AND AIR. (2009). [On line]. Disponible en: www.nalco.com
- MANUAL DE INGENIERÍA DE DISEÑO PDVSA. (1994).. Cálculo Hidráulico de Tuberías. Caracas - Venezuela.

- NORMA COVENIN (1995). Técnicas de muestreos de agua de producción. [Base de datos en línea]. Consultada el 18 de Enero de 2008 en: www.webmail/pdvsa.com
- SABINO C. (2002). *El proceso de la investigación*. Editorial Panapo. Caracas–Venezuela.
- SIEMENS WATER TECHNOLOGIES TO THE WORLD. (2009). [On line]. Disponible en: www.water.siemens.com/
- SAMPIERI R. (1999). *Metodología de la Investigación*. Segunda Edición. Editorial Mc.Graw Hill. México
- TRUJILLO J. (1997). *Estudio de calidad del agua para el diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas de producción de los campos de crudo liviano mediano de Corpoven*. Informe INTEVEP San Tomé., Venezuela.
- VARGAS L. (2004). *Tratamiento de agua de inyección y de generación de vapor*. Trabajo de grado. Instituto de Investigaciones Petroleras INPELUZ, Universidad del Zulia, Venezuela. 12 pp.
- VELÁSQUEZ, E. (2004). “*Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Efluentes del Campo el Furrial (TAEF)*.”. Tesis de Grado. UDO. Núcleo de Monagas.





APÉNDICE “A”
PORTAFOLIO DE OPORTUNIDADES
2006 - 2025

PORTAFOLIO DE OPORTUNIDADES 2006 - 2025																				
PROYECTO AGUASAY CARISITO																				
PRONÓSTICO F/A DE POTENCIAL DE GAS (MMPCGD) POR ESTACIONES																				
POTENCIAL NIVEL 60#	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BAT-4A	16,9	22,1	36,6	53,8	49,0	48,1	42,3	44,4	39,1	41,0	39,1	49,6	48,6	42,8	37,7	36,4	33,6	31,2	29,0	25,5
CARO	5,9	6,8	12,5	33,0	37,1	35,8	39,7	35,0	43,6	38,3	42,5	37,4	36,1	33,4	44,2	40,5	37,2	34,4	31,8	29,6
BAT-5A	11,6	10,2	8,9	12,7	14,4	14,2	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	12,9	11,4	11,6	10,2	9,0	7,9	7,0	6,1	5,4
AGV-PPAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CARISITO	11,3	10,0	8,8	28,9	28,7	29,2	31,8	32,0	28,2	32,0	28,1	27,8	30,0	34,4	30,3	30,7	27,0	23,7	20,9	18,4
TOTAL POTENCIAL NIVEL 60#	45,6	49,0	66,9	128,5	129,0	127,4	126,4	124,0	123,5	124,1	122,6	127,7	126,2	122,2	122,4	116,5	105,7	96,2	87,9	78,9

PORTAFOLIO DE OPORTUNIDADES 2006 - 2025																				
PROYECTO AGUASAY CARISITO																				
PRONÓSTICO F/A DE POTENCIAL DE CRUDO (BNP) POR ESTACIONES																				
POTENCIAL NIVEL 60#	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BAT-4A	500	701	1457	1644	1413	1210	968	1041	832	914	821	1075	980	784	627	698	656	623	596	477
CARO	471	475	558	836	859	883	983	786	1053	842	1088	870	892	812	1243	1093	972	876	799	737
BAT-5A	566	453	362	584	663	628	503	500	498	497	495	494	395	414	331	265	212	170	136	109
AGV-PPAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARISITO	1044	836	668	1264	1207	1046	1084	968	774	885	708	657	763	831	664	632	505	404	323	259
TOTAL POTENCIAL NIVEL 60#	2582	2465	3046	4327	4142	3768	3538	3294	3158	3138	3112	3096	3031	2841	2866	2687	2346	2073	1854	1581

PORTAFOLIO DE OPORTUNIDADES 2006 - 2025																				
PROYECTO AGUASAY CARISITO																				
PRONÓSTICO F/A DE VOLUMETRIA DE AGUA (BLS) POR ESTACIONES																				
POTENCIAL NIVEL 60#	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BAT-4A	304	475	1064	1317	1251	1183	1040	1253	1115	1348	1343	1997	2103	1968	1886	2371	2537	2752	3029	2738
CARO	331	349	426	661	741	820	985	864	1286	1146	1688	1530	1847	1927	3780	3761	3760	3836	3996	4258
BAT-5A	392	339	294	476	575	589	516	557	608	668	738	825	749	897	839	789	688	604	532	471
AGV-PPAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARISITO	701	606	526	1015	1046	1004	1146	1147	1020	1290	1160	1202	1592	2050	1960	2045	1793	1581	1402	1254
TOTAL POTENCIAL NIVEL 60#	1.728	1.768	2.310	3.469	3.613	3.596	3.687	3.820	4.028	4.452	4.928	5.555	6.290	6.842	8.465	8.965	8.778	8.772	8.959	8.721

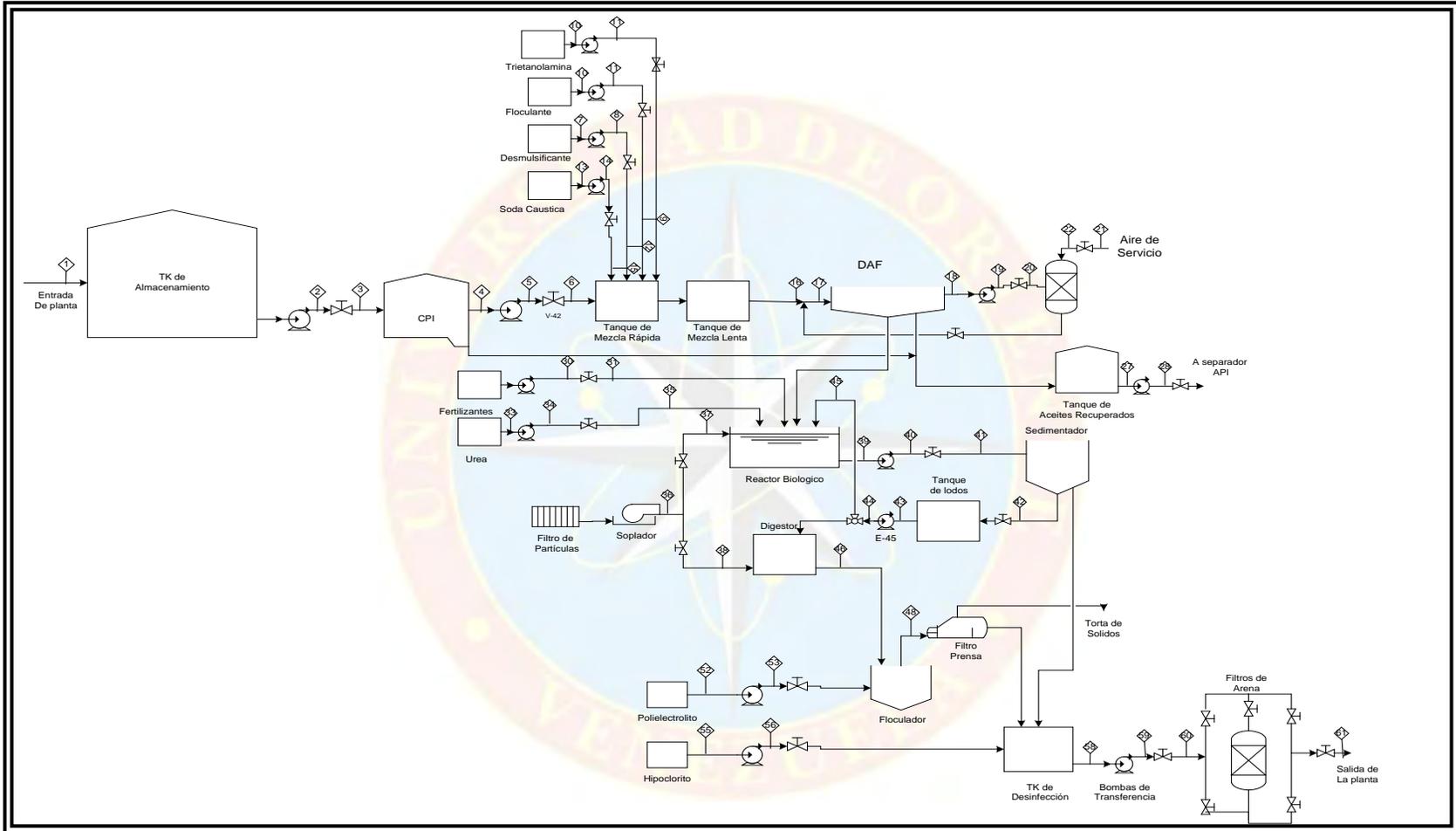
Elaborado por: Ing. Aura López
Revisado por: Ing. Dora Contreras
Ref: PDO-DGA-12

Responsables D.G.A.
Spte EEII: Ing's. Geol. Yílsa López / José Macadán
Spte Yacimientos: Ing's. Juan Rivas / Mounir El Halabi
Gte Técnico: Ing. Geol. Carlos Márquez

APENDICE “A”: Portafolio de oportunidades 2006 – 2021



APÉNDICE “B”
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
(DFP)

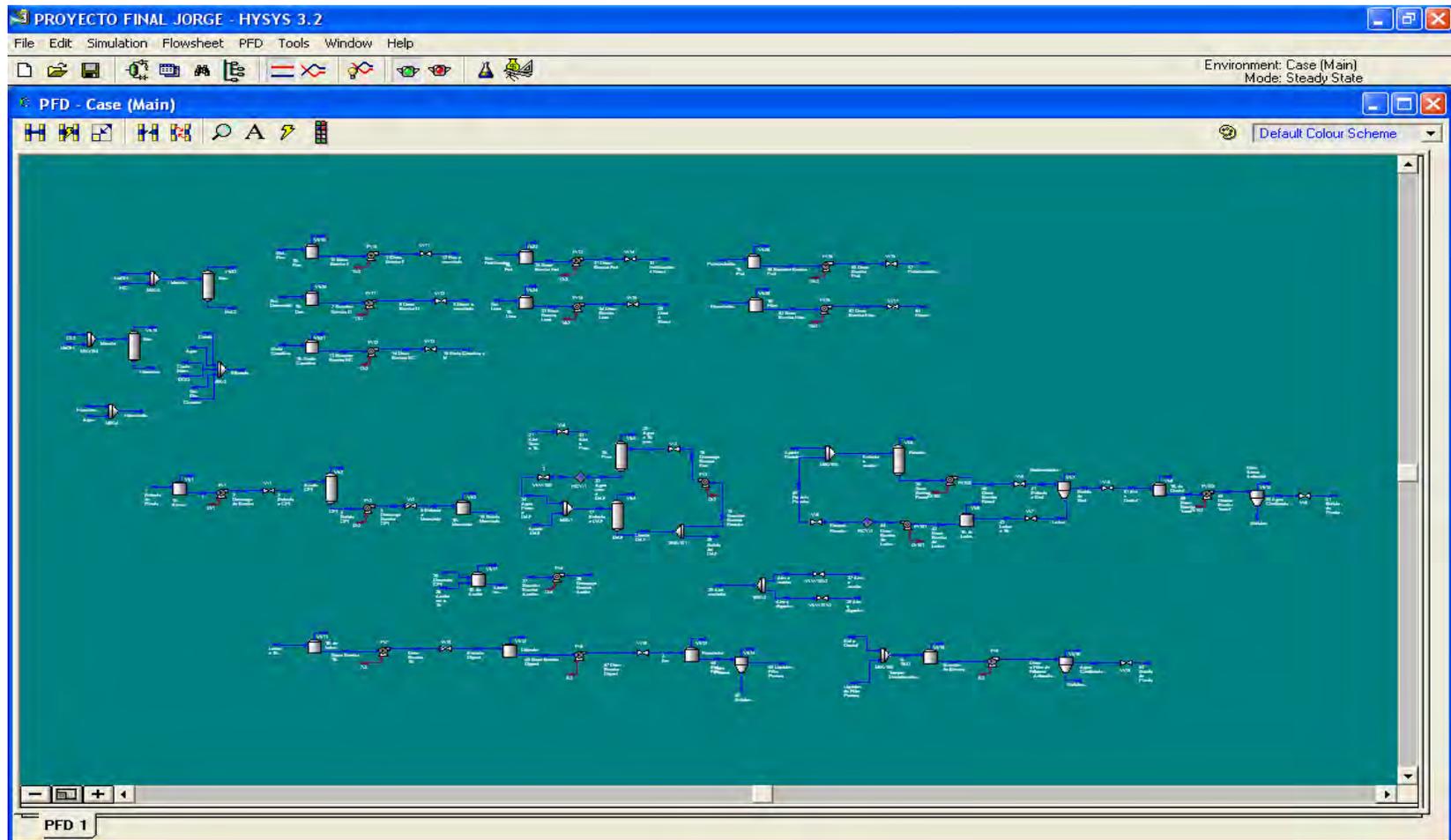


APENDICE “B”: Diagrama de flujo de procesos



APÉNDICE “C”

SIMULACIÓN DEL SISTEMA CON
HYSYS 3.2 Y BALANCE DE MASA Y
ENERGIA



APENDICE “C”: Simulación del sistema en HYSYS 3.2

BALANCE DE MASA Y ENERGIA (CONTINUACIÓN)

49	50	51	52	53	54	55	56
TORTA DE SOLIDOS	AGUA DEL FILTRO PRENSA	AGUA A DESINFECCIÓN	SUCCIÓN BOMBA DE HIPOCLORITO	DESCARGA BOMBA DE HIPOCLORITO	HIPOCLORITO A TANQUE DE DESINFECCIÓN	SUCCIÓN BOMBA DE POLIELECTROLITO	DESCARGA BOMBA DE POLIELECTROLITO
95.23	95.23	95.12	97.37	97.44	97.51	95.00	95.13
7.00	7.00	6.00	1.00	35.00	5.00	1.00	35.00
1376.74	19732268.56	59197111.63	3198.22	3198.22	3198.22	4738.39	4738.39
1.01	19737.05	59211.36	2.98	2.98	2.98	3.34	3.34
85.40	62.41	62.41	66.98	66.98	66.98	88.60	88.60
85.40	62.46	62.46	59.07	59.07	59.07	86.46	86.46
<empty>	0.7535	0.7543	0.6105	0.6101	0.6097	0.6179	0.6173
1.3679	0.9997	0.9997	1.0729	1.0729	1.0729	1.4192	1.4192
6.23	18.22	18.22	19.63	19.63	19.63	13.04	13.03
40.08	18.08	18.08	19.88	19.88	19.88	31.74	31.74
#jVALOR!	0.96	0.96	1.90	1.90	1.90	0.84	0.84
0	1	1	0	0	0	0	0
0	502	502	0	0	0	0	0
0	996706	996703	900026	900026	900026	711048	711048
1000000	1	4	0	0	0	0	0
0	2618	2618	0	0	0	0	0
1000000	2618	2622	0	0	0	0	0
0	171	171	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	288952	288952
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	487	99974	99974	0	0	0

BALANCE DE MASA Y ENERGIA (CONTINUACIÓN)

57	58	59	60	61	62
POLIELECTROLITO A TANQUE DE FLOCULACION	SUCCIÓN BOMBAS DE TRANSFERENCI A	DESCARGA BOMBAS DE TRANSFERENCI A	AGUA CLARIFICADA	SALIDA DE PLANTA	SALIDA DE PLANTA 2
95.22	95.12	95.25	95.25	95.25	95.47
5.00	6.00	105.00	90.00	90.00	10.00
4738.39	59197111.63	59197111.63	59196767.45	59196767.45	78929022.24
3.34	59211.36	59211.36	59211.11	59211.11	78948.15
88.60	62.41	62.41	62.41	62.41	62.41
86.45	62.46	62.47	62.47	62.45	62.45
0.6167	0.7543	0.7534	0.7534	0.7518	0.7517
1.4192	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997
13.03	18.22	18.21	18.21	18.22	18.22
31.74	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08
0.84	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
0	1	1	1	0.5421	0.5421
0	502	502	502	502	502
711048	996703	996703	996707	996707	996707
0	4	4	0.04	0.04292	0.0335
0	2618	2618	2618	2617.94	2617.94
0	2622	2622	2618	2617.99	2617.98
0	171	171	171	171.17	171.17
0	0	0	0	0	0
288952	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Norma
Norma
Norma
Norma
Norma
Norma

APÉNDICE “D”

LIMITES MAXIMOS DE CALIDAD DE
VERTIDOS LIQUIDOS, SEGÚN EL
DECRETO N° 883.



DE LAS DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA

Artículo 10. A los fines de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

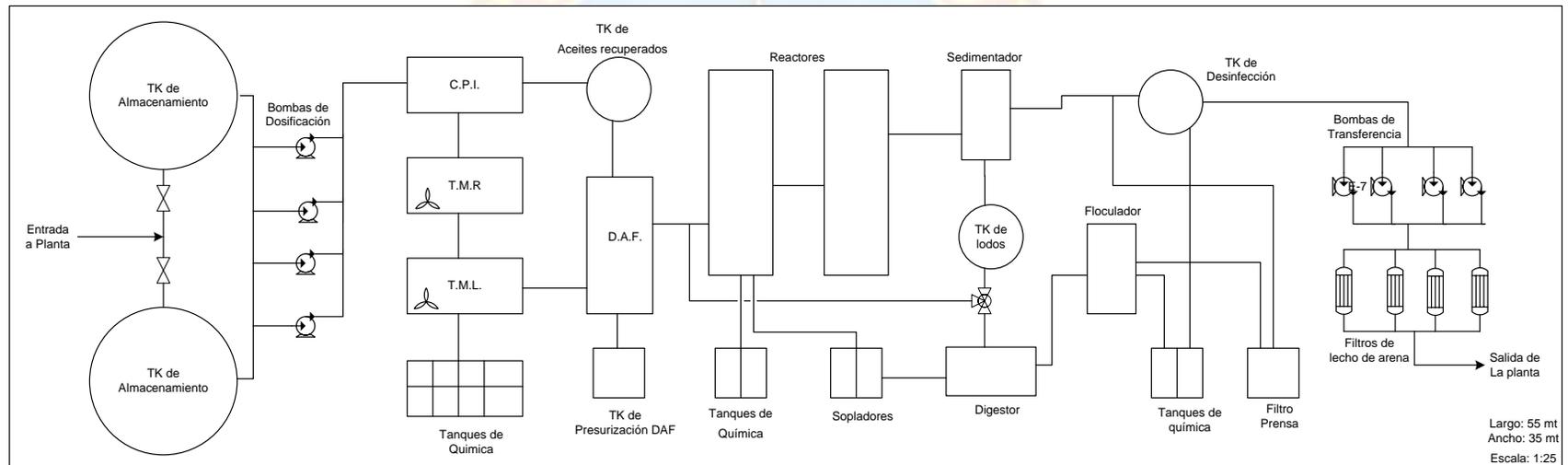
Parámetros Físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Color real	500 unidades de Pt-Co
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10,0 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
PH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfatos	1.000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Organoclorados	0,05 mg/l
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

Fuente: Según los métodos aprobados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.



APÉNDICE “E”

PLANO DE UBICACIÓN DE EQUIPOS



APENDICE “E”: Plano de ubicación de equipos



APÉNDICE “F”

REPORTES DE LA SIMULACIÓN
HIDRAULICA CON PIPEPHASE 9.1

=====

BASE CASE 1

=====

NETWORK SUMMARY

Link	Std. Flowrates			Inlet			Outlet		
	Oil BPD	Water BPD	Gas MMCFD	Node	Pres. PSIG	Temp. F	Node	Pres. PSIG	Temp. F
L001	0.0	2999.6	0.0000	J001	9.9	95.	J043	15.0	95.
L005	0.0	2999.6	0.0000	J002	9.9	95.	J043	15.0	95.
L007	0.0	2999.6	0.0000	J003	9.9	95.	J043	15.0	95.
L018	0.0	2999.6	0.0000	J004	10.0	95.	J001	9.9	95.
L020	0.0	2999.6	0.0000	J004	10.0	95.	J002	9.9	95.
L021	0.0	2999.6	0.0000	J004	10.0	95.	J003	9.9	95.
L023	0.0	8998.8	0.0000	TANQ	10.0	95.	J004	10.0	95.
L081	0.0	8998.8	0.0000	J043	15.0	95.	ENTC	8.0	95.

NODE SUMMARY

Node	Pressure PSIG	Temp. F	Oil Grav	Gas Grav LB/CF	Water Cut %	GOR CFBBL	Liquid Rate BPD
J001	9.9	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J002	9.9	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J003	9.9	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J004	10.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
TANQ	10.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	8998.8
J043	15.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
ENTC	8.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	-8998.8

LINK DEVICE SUMMARY

Link	Device		Inlet		Average		
	Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Vsl FPS	Vsg FPS	Holdup
L001	P003	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	P004	PUMP	9.9	95.0	----	----	----
	P005	PIPE	15.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		15.0	95.0			
L005	P006	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	P007	PUMP	9.9	95.0	----	----	----
	P008	PIPE	15.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		15.0	95.0			
L007	P009	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	P010	PUMP	9.9	95.0	----	----	----
	P011	PIPE	15.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		15.0	95.0			
L018	P014	PIPE	10.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	B006	BEND	10.0	95.0	----	----	----

=====

BASE CASE 1 (Cont)

=====

Link	---Device---		----- Inlet -----				Average Holdup
	Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Vsl FPS	Vsg FPS	
	B007	BEND	10.0	95.0	----	----	----
	P015	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		9.9	95.0			
L020	P016	PIPE	10.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	B008	BEND	10.0	95.0	----	----	----
	B009	BEND	10.0	95.0	----	----	----
	P017	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		9.9	95.0			
L021	P018	PIPE	10.0	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	B010	BEND	10.0	95.0	----	----	----
	B011	BEND	10.0	95.0	----	----	----
	P019	PIPE	9.9	95.0	2.21	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		9.9	95.0			
L023	P013	PIPE	10.0	95.0	2.93	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		10.0	95.0			
L081	P083	PIPE	15.0	95.0	2.93	0.00	1-PH 1.00
	B002	BEND	15.0	95.0	----	----	----
	P001	PIPE	14.9	95.0	2.93	0.00	1-PH 1.00
	B003	BEND	8.0	95.0	----	----	----
	P002	PIPE	8.0	95.0	2.93	0.00	1-PH 1.00
	OUTLET		8.0	95.0			

PUMP REPORT

Pump	Rate	Suction Pres. PSIG	Outlet Pres. PSIG	Outlet Temp. F	Head FTHD	EFF	BHP HP	Stages
P004	3014.1	9.9	15.0	95.0	11.8	0.70	0.4	1
P007	3014.1	9.9	15.0	95.0	11.8	0.70	0.4	1
P010	3014.1	9.9	15.0	95.0	11.8	0.70	0.4	1

BASE CASE 2

NETWORK SUMMARY

Link	Std. Flowrates			Inlet			Outlet		
	Oil BPD	Water BPD	Gas MMCFD	Node	Pres. PSIG	Temp. F	Node	Pres. PSIG	Temp. F
L001	0.0	8998.8	0.0000	J001	21.8	95.	J002	6.8	95.
L002	0.0	8998.8	0.0000	J016	24.9	95.	J001	21.8	95.
L004	0.0	8998.8	0.0000	J002	6.8	95.	SALI	6.8	95.
L024	0.0	8998.8	0.0000	DESI	1.0	95.	J013	1.0	95.
L028	0.0	3164.2	0.0000	J013	1.0	95.	J015	25.0	95.
L029	0.0	2882.3	0.0000	J013	1.0	95.	J012	25.0	95.
L030	0.0	2952.2	0.0000	J013	1.0	95.	J014	25.0	95.
L033	0.0	3164.2	0.0000	J015	25.0	95.	J016	24.9	95.
L037	0.0	2882.3	0.0000	J012	25.0	95.	J016	24.9	95.
L038	0.0	2952.2	0.0000	J014	25.0	95.	J016	24.9	95.

NODE SUMMARY

Node	Pressure	Temp.	Oil Grav	Gas Grav	Water Cut	GOR	Liquid Rate
	PSIG	F		LB/CF	%	CFBBL	BPD
J001	21.8	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J016	24.9	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J002	6.8	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
DESI	1.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	8998.8
J013	1.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J015	25.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J012	25.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
J014	25.0	95.	0.0	0.0000	100.0	----	
SALI	6.8	95.	0.0	0.0000	100.0	----	-8998.8

LINK DEVICE SUMMARY

Link	Device		Inlet		Average		
	Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Vsl FPS	Vsg FPS	Holdup
L001	R001	DREG	21.8	95.0	----	----	----
	OUTLET		6.8	95.1			
L002	P021	PIPE	24.9	95.0	2.93	0.00	1.00
	B020	BEND	24.9	95.0	----	----	----
	P022	PIPE	24.9	95.0	2.93	0.00	1.00
	B021	BEND	21.8	95.0	----	----	----
	P023	PIPE	21.8	95.0	2.93	0.00	1.00
	OUTLET		21.8	95.0			
L004	P028	PIPE	6.8	95.1	2.93	0.00	1.00
	OUTLET		6.8	95.1			

=====

BASE CASE 2 (Cont)

Link	---Device---		----- Inlet -----				Average Holdup	
	Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Vsl FPS	Vsg FPS		Pattern
L024	P085	PIPE	1.0	95.0	2.93	0.00	1-PH	1.00
	OUTLET		1.0	95.0				
L028	P003	PIPE	1.0	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	B004	BEND	1.0	95.0	----	----	----	----
	P010	PIPE	0.9	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	B005	BEND	0.9	95.0	----	----	----	----
	P004	PIPE	0.9	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	P102	PUMP	0.9	95.0	----	----	----	----
	OUTLET		25.0	94.9				
L029	P089	PIPE	1.0	95.0	2.13	0.00	1-PH	1.00
	B001	BEND	1.0	95.0	----	----	----	----
	P002	PIPE	1.0	95.0	2.13	0.00	1-PH	1.00
	B002	BEND	1.0	95.0	----	----	----	----
	P001	PIPE	0.9	95.0	2.13	0.00	1-PH	1.00
	P101	PUMP	0.9	95.0	----	----	----	----
	OUTLET		25.0	94.9				
L030	P093	PIPE	1.0	95.0	2.18	0.00	1-PH	1.00
	B006	BEND	1.0	95.0	----	----	----	----
	P009	PIPE	1.0	95.0	2.18	0.00	1-PH	1.00
	B007	BEND	0.9	95.0	----	----	----	----
	P005	PIPE	0.9	95.0	2.18	0.00	1-PH	1.00
	P103	PUMP	0.9	95.0	----	----	----	----
	OUTLET		25.0	94.9				
L033	P098	PIPE	25.0	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	B010	BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
	P012	PIPE	25.0	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	B011	BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
	P007	PIPE	24.9	95.0	2.34	0.00	1-PH	1.00
	OUTLET		24.9	95.0				
	L037	P008	PIPE	25.0	95.0	2.13	0.00	1-PH
B012		BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
P011		PIPE	25.0	95.0	2.13	0.00	1-PH	1.00
B013		BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
P096		PIPE	24.9	95.0	2.13	0.00	1-PH	1.00
OUTLET			24.9	95.0				
L038		P006	PIPE	25.0	95.0	2.18	0.00	1-PH
	B009	BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
	P013	PIPE	25.0	95.0	2.18	0.00	1-PH	1.00
	B008	BEND	25.0	95.0	----	----	----	----
	P100	PIPE	24.9	95.0	2.18	0.00	1-PH	1.00
	OUTLET		24.9	95.0				

BASE CASE 2 (Cont)

PUMP REPORT

Pump	Rate	Suction Pres.	Outlet Pres.	Outlet Temp.	Head	EFF	BHP	Stages
	BPD	PSIG	PSIG	F	FTHD		HP	
P102	3179.6	0.9	25.0	94.9	55.9	0.70	1.9	1
P101	2896.3	0.9	25.0	94.9	55.9	0.70	1.7	1
P103	2966.5	0.9	25.0	94.9	55.9	0.70	1.7	1

BASE CASE 3

NETWORK SUMMARY

Link	Std. Oil BPD	Flowrates Water BPD	Gas MMCFD	Inlet Node	Pres. PSIG	Temp. F	Outlet Node	Pres. PSIG	Temp. F
L008	1.3	0.0	0.0000	DESE	0.9	95.	TKDE	4.0	80.

NODE SUMMARY

Node	Pressure PSIG	Temp. F	Oil Grav	Gas Grav LB/CF	Water Cut %	GOR	Liquid Rate BPD
DESE	0.9	95.	0.7	0.0000	0.0	6.	1.3
TKDE	4.0	80.	0.7	0.0000	0.0	6.	-1.3

LINK DEVICE SUMMARY

Link	Device Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Inlet Vsl FPS	Vsg FPS	Pattern	Average Holdup
L008	P012	PIPE	0.9	95.0	1.6E-3	0.00	1-PH	1.00
	B001	BEND	0.9	80.0	----	----	----	----
	P002	PIPE	0.9	80.0	1.6E-3	0.00	1-PH	1.00
	B003	BEND	2.5	80.0	----	----	----	----
	P004	PIPE	2.5	80.0	1.6E-3	0.00	1-PH	1.00
	B005	BEND	2.5	80.0	----	----	----	----
	P006	PIPE	2.5	80.0	1.6E-3	0.00	1-PH	1.00

OUTLET 4.0 80.0
 SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT PIPEPHASE VERSION 9.1
 PROBLEM INPUT

PAGE 1

HYDRAULIC SUMMARY

12/02/09

BASE CASE 4

NETWORK SUMMARY

Link	Std. Flowrates			Inlet			Outlet		
	Oil BPD	Water BPD	Gas MMCFD	Node	Pres. PSIG	Temp. F	Node	Pres. PSIG	Temp. F
L000	0.0	0.0	0.0110	J000	100.0	82.	J001	60.0	82.
L003	0.0	0.0	0.0110	AIRE	100.0	95.	J000	100.0	82.
L005	0.0	0.0	0.0110	J001	60.0	82.	TANQ	60.0	80.

NODE SUMMARY

Node	Pressure	Temp.	Oil Grav	Gas Grav	WGR	CGR	Gas Rate
	PSIG	F	API	LB/CF		BBLMMCF	MMCFD
J000	100.0	82.	0.0	0.0763	0.0	0.	
AIRE	100.0	95.	0.0	0.0763	0.0	0.	0.0110
J001	60.0	82.	0.0	0.0763	0.0	0.	
TANQ	60.0	80.	0.0	0.0763	0.0	0.	-0.0110

LINK DEVICE SUMMARY

Link	Device		Inlet		Average		
	Name	Type	Pressure PSIG	Temp. F	Vsl FPS	Vsg FPS	Pattern Holdup
L000	R000	DREG	100.0	82.3	----	----	----
	OUTLET		60.0	82.3			
L003	P001	PIPE	100.0	95.0	----	2.79	----
	B000	BEND	100.0	92.2	----	----	----
	P002	PIPE	100.0	92.2	----	2.78	----
	B002	BEND	100.0	90.0	----	----	----
	P000	PIPE	100.0	90.0	----	2.76	----
L005	OUTLET		100.0	82.3			
	P003	PIPE	60.0	82.3	----	4.25	----
	B003	BEND	60.0	80.5	----	----	----
	P004	PIPE	60.0	80.5	----	4.24	----
	B004	BEND	60.0	80.4	----	----	----
	P005	PIPE	60.0	80.4	----	4.24	----
	B005	BEND	59.9	80.4	----	----	----
P006	PIPE	59.9	80.4	----	4.24	----	
	OUTLET		60.0	80.3			