



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

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y  
BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O-16  
Y J-20 EN EL ÁREA EXTRACCIÓN EXTRAPESADO DEL  
DISTRITO MORICHAL**

**REALIZADO POR:**

**NIEVES MARÍA GUZMÁN MALPICA**

**Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial para optar al título  
de:**

**INGENIERO DE PETRÓLEO**

**MATURÍN, JULIO DE 2011**



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

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y  
BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O-16  
Y J-20 EN EL ÁREA EXTRACCIÓN EXTRAPESADO DEL  
DISTRITO MORICHAL**

**REALIZADO POR:**

**NIEVES MARÍA GUZMÁN MALPICA  
CI. 19.091.344**

**REVISADO POR:**

---

**MSC. ISAAC CONTRERAS  
ASESOR ACADÉMICO**

---

**ING. ELSA BOHÓRQUEZ  
ASESOR INDUSTRIAL**

**MATURÍN, JULIO DE 2011**



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

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y  
BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O-16  
Y J-20 EN EL ÁREA EXTRACCIÓN EXTRAPESADO DEL  
DISTRITO MORICHAL**

**NIEVES MARÍA GUZMÁN MALPICA.  
CI. 19.091.344**

**APROBADO POR:**

---

**MSC. ISAAC CONTRERAS  
ASESOR ACADÉMICO**

---

**ING. HORTENSIA CALZADILLA  
JURADO PRINCIPAL**

---

**ING. JAIME DÍAZ  
JURADO PRINCIPAL**

**MATURÍN, JULIO DE 2011**

## DEDICATORIA

Al culminar esta gran etapa de mi vida les dedico este gran logro a DIOS y a Santa Bárbara bendita por guiar cada uno de mis pasos e iluminar mi camino para lograr culminar mi gran meta con total éxito.

A mis padres Nancy y Rómulo quienes siempre estuvieron allí guiando mi camino y brindándome cada uno su apoyo incondicional, Gracias padres por sus consejos, valores y dedicación, sin ustedes nunca hubiese podido culminar mi sueño... LOS AMO!

A mis hermanos:

José Rafael por ser mi segundo padre, por toda la ayuda que me ha dado y por enseñarme que con trabajo y dedicación todo es alcanzado con total éxito.

Romira por brindarme todos sus consejos, apoyo y ser esa cómplice incondicional en la que siempre he contado en las buenas y malas.

Roxana mi gran ejemplo a seguir, gracias hermana por todo tu apoyo incondicional y los grandes consejos aportados que me ayudaron a crecer como ser humano y profesional.

Rómulo por ser mi amigo y compañero en este gran camino y por todo el apoyo que nos brindamos para culminar este gran sueño juntos.

Los amo hermanos....!

A mis sobrinos Sebastián Miguel, Zoneida Victoria y Jorge Alejandro por ser los portadores de innumerables sonrisas y emociones, a ustedes mis niños les dedico este gran logro para que su tía favorita sea un gran ejemplo a seguir... Los amo!!

A Todos Ustedes Bella Familia Les Dedico Este Logro... Los Amo!



## AGRADECIMIENTOS

Agradecida plenamente con la vida y con DIOS padre todo poderoso por brindarme esta gran satisfacción de culminar mi gran sueño.

A mis padres: Nancy y Rómulo por ser los pilares fundamentales en mi vida.

A mis hermanos: José Rafael, Romira, Roxana y Rómulo por ser mis amigos y grandes ejemplos a seguir.

A mis sobrino: Tantan, Tita y Titi por iluminar mí día a día.

A mis cuñados: Mario, Jorge, Rosa por brindarme sus consejos y amistad.

A mis hermanas de la vida: Fabiola, Fanny, Joselys y Gabriela por ser tan especiales y enseñarme que la verdadera amistad trasciende a través de los tiempos.

A mis compañeros y amigos de batalla: Yolisay, Karen, Andris, Rodolfo, Ludimar, Calalo y Karla por estar siempre juntos en la buenas y malas, por todas las sonrisas y lágrimas compartidas, por todas las horas de estudios y conocimientos que compartimos en las instalaciones de nuestra amada Universidad, siempre pueden contar conmigo Pokemones los quiero muchísimo!

Al Ing. Isaac Contreras por asesorarme académicamente por su dedicación y brindarme sus grandes conocimientos y gran ayuda, muchísimas gracias por todo Profe!!

A la Ing. Jenny Salazar por ofrecerme toda su ayuda en la empresa, conocimientos y consejos que me ayudaron a realizar mi trabajo de grado y prepararme como una profesional, Gracias Jenny!

A la superintendencia de Ingeniería de la Gerencia de Procesos de Superficie de PDVSA Distrito Morichal por permitirme realizar mis pasantias allí y especialmente a los Ingenieros Rosángela Sufía, Francisco Morillo y Elsa Bohórquez por todo el apoyo y conocimiento brindado.

Al personal de la Superintendencia de Planificación de GPS especialmente a Birmania, Wuilver, Marisela, Hermes, Carlos, José Gregorio, Ángel y Mari por todo su apoyo y amistad brindada.

Al ingeniero Luís Rondon por todo el conocimiento y apoyo que me brindo para la realización de tan importante trabajo de grado.

A mi amigo Enmanuel por ayudarme hacer los levantamientos de campos necesarios para realizar mi trabajo de grado.

A TODOS USTEDES MUCHÍSIMAS GRACIAS!

# ÍNDICE GENERAL

<b>APROBADO POR:</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>INDICE DE GRAFICAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	6
2.3 BASES TEÓRICAS.....	7
2.3.1 Dilución de Crudo Pesado y Extrapesado.....	7
2.3.2 Erosión en Tubería con Flujo Multifásico .....	9
2.3.3 Estaciones de flujo .....	9
2.3.4 Gradiente de Presión en Tuberías Horizontales.....	10
2.3.5 Líneas de Flujo.....	13
2.3.6 Número de Reynolds.....	14
2.3.7 Variables de Proceso.....	15
2.4 TÉRMINOS BÁSICOS .....	15
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>21</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>21</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	21
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	21
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	22
3.4.1 Descripción del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente desde COMOR hasta las EF O16 y J-20.....	22
3.4.2 Modelación del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente a las Condiciones y Volumetría Actual Mediante el Software PIPEPHASE 9.1 .....	24



3.4.3 Simulación del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente de acuerdo al Plan de Exploración y Producción 2010-2020 Mediante el Software PIPEPHASE 9.1 .....	26
3.4.4 Evaluación de las Bombas Existentes para Verificar si estos Operarán con la Nueva Volumetría a Manejar .....	29
3.5. HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	32
3.5.1 Herramientas .....	32
3.5.1.1 Software PIPEPHASE 9.1 .....	32
3.5.2 Técnicas .....	32
3.6 RECURSOS .....	32
3.6.1 Recursos Humanos.....	32
3.6.2 Recursos Financieros .....	33
3.6.3 Recursos Materiales y Bibliográficos .....	33
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>34</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O16 Y J-20 .....	34
4.1.1 Levantamiento de Campo desde COMOR hasta el km 9 (tramo 1) .....	35
4.1.2 Levantamiento de Campo desde km 9 hasta la ef 0-16 (tramo 2).....	36
4.1.3 Levantamiento de Campo desde COMOR hasta el km 0 (tramo 3) .....	37
4.1.4 Levantamiento de Campo desde km 0 hasta la ef j-20 (tramo 4).....	38
4.2 MODELACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE A SUS CONDICIONES Y VOLUMETRÍA ACTUAL MEDIANTE EL SOFTWARE PIPEPHASE 9.1 .....	39
4.2.1 Simulación Hidráulica del Sistema hasta la Succión de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR .....	42
4.2.2 Simulación Hidráulica del Sistema en General desde la Descarga de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR hasta las ef o-16 y j-20.....	48
4.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE DE ACUERDO AL PLAN DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN 2010-2020 MEDIANTE EL SOFTWARE PIPEPHASE 9.1 .....	54
4.3.1 Simulación Hidráulica del Sistema hasta la Succión de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR Aumentando el Diámetro en las Líneas de Transferencia y Bombeo de Diluyente.....	55
4.3.2 Simulación Hidráulica del Sistema en General desde la Descarga de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR hasta las ef o-16 y j-20, Aumentando el Diámetro en las Líneas de Transferencia y Bombeo de Diluyente .....	59
4.4 EVALUACIÓN DE LAS BOMBAS EXISTENTES PARA VERIFICAR SI ESTAS OPERARÁN CON LA NUEVA VOLUMETRÍA A MANEJAR .....	65
4.4.1 Evaluación de las Bombas p003 a/b/c/d/e Ubicadas en COMOR .....	65
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>

5.1 CONCLUSIONES .....	69
5.2 RECOMENDACIONES .....	70
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>72</b>
<b>HOJAS METADATOS.....</b>	<b>95</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación del área a estudiar .....	6
Figura 2.2 Línea de Flujo .....	14
Figura 3.1 Esquema actual del sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta la estaciones de flujo O-16 y J-20 .....	23
Figura 3.2 Caídas de presión permisibles según norma PDVSA 90616.1.024.....	27
Figura 3.3 Velocidades permisibles según norma PDVSA 90616.1.024 .....	27
Figura 4.1 Esquemático actual del sistema de transferencia y bombeo de diluyente. ....	34
Figura 4.2 Levantamiento de campo desde COMOR hasta el Km .....	35
Figura 4.3 Levantamiento de campo en la Estación de Flujo O-16. ....	36
Figura 4.4 Levantamiento de campo desde COMOR hasta el km 0.....	37
Figura 4.5 Levantamiento de campo en la Estación de Flujo J-20 .....	38
Figura 4.6 Características del diluyente Mesa 30 .....	40
Figura 4.7 Simulación hidráulica hasta la succión de las bombas .....	42
Figura 4.8 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador .....	44
Figura 4.9 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador .....	45
Figura 4.10 Tramos de las líneas con elevación con mayor longitud .....	47
Fig.4.11 Simulación de la descarga de las bombas.....	48
Figura 4.12 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que no cumplieron con la norma. ....	50
Figura 4.13 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que si cumplieron con la norma. ....	52
Figura 4.14 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que si cumplieron con la norma.....	53
Figura 4.15 Líneas que no cumplen con la normativa al suministrar la nueva volumetría del PDO.....	56
Figura 4.16 Resultados arrojados por el simulador luego de aumentar el diámetro de las líneas restrictotas de caudal .....	58
Figura 4.17 Simulación hidráulica desde la descarga de las bombas hasta las estaciones de flujo .....	60
Figura 4.18 Resultados arrojados por el simulador a la descarga de las bombas .....	62
Figura 4.19 Resultados arrojados por el simulador a la descarga de las bombas .....	64
Figura 4.20 Velocidades arrojadas por el simulador hasta la succión de las bombas.....	67
Figura 4.21 Nueva propuesta de diseño hasta la succión de las bombas .....	68

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica A.1 Perfil topográfico del tramo 1 .....	74
Gráfica A.2 Perfil topográfico del tramo 2 .....	75
Gráfica A3 Perfil topográfico del tramo 3 .....	76
Gráfica A 4Perfil topográfico del tramo 4 .....	77



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Premisas de diseño para realizar la simulación hidráulica en el software Pipephase 9.1 .....	25
Tabla 4.1 Presión de succión y caudales por cada bomba. ....	43
Tabla 4.2. Comparación de las diferentes caídas de presión obtenidas por el simulador y por la ecuación.....	46
Tabla 4.3 Presión de llegada a las estaciones de flujo O-16 y J-20 .....	49
Tabla 4.4 Comparación de las diferentes caídas de presión obtenidas por el simulador y por la ecuación.....	51
Tabla 4.5 Volumetrías para cada estación de flujo .....	55
Tabla 4.6 Líneas que se le sustituyeron el diámetro por uno mayor.....	57
Tabla 4.7 Presión de succión y caudales por cada bomba .....	59
Tabla 4.8 Presiones de llegada a cada estación de flujo .....	61
Tabla 4.9 Líneas que se le sustituyeron el diámetro por uno mayor.....	63
Tabla 4.10 Especificaciones de las bombas P003 A/B/C/D/E.....	66
Tabla A.1. Perfil de elevaciones del tramo 1 .....	74
Tabla A.2. Perfil de elevaciones del tramo 2 .....	75
Tabla A.3. Perfil de elevaciones del tramo 3 .....	76
Tabla A.4. Perfil de elevaciones del tramo 4 .....	77
Tabla B.1 Portafolio de oportunidades 2010-2020 .....	79
Tabla C.1 Comparación con diferentes diámetros y volumetría.....	81
Tabla C.2 Comparación con diferentes diámetros y volumetría.....	82
Tabla C.3 Comparación con diferentes diámetros y volumetría.....	83



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

**RESUMEN**

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE  
DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O-16 Y J-20 EN EL ÁREA  
EXTRACCIÓN EXTRAPESADO DEL DISTRITO MORICHAL**

<b>Autor:</b> Nieves María Guzmán Malpica C.I:19.091.344 Fecha: Julio de 2011	<b>Asesor académico:</b> Msc. Isaac Contreras <b>Asesor industrial:</b> Ing. Elsa Bohórquez
--	--

El presente estudio tuvo como finalidad fundamental realizar una evaluación hidráulica al sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20 en el área extracción extra pesado del Distrito Morichal con el propósito de verificar si el sistema actual cumple con la normativa de la empresa y también si este sistema cumplirá con los requerimientos del portafolio de oportunidades (2010-2020) propuesto por PDVSA Distrito Morichal, mediante el análisis de los resultados arrojados por el simulador PIPEPHASE 9.1 al cual se le suministró la data obtenida en campo y la caracterización del fluido estudiado (Mesa 30), al igual que también se evaluaron los equipos (bombas y tanques) que conforman este sistema de transferencia y bombeo de diluyente el cual esta conformado por 30 kilómetros de tubería cinco bombas y dos tanques a evaluar mediante ecuaciones establecidas en las normativas de PDVSA.

Los resultados arrojados por este análisis concluyeron que este sistema de transferencia y bombeo de diluyente para manejar dicha volumetría propuesta por el PDO 2010-2020 tiene que cambiar tramos de tuberías estratégicos los cuales no cumplieron con los criterios establecidos por la norma PDVSA 90616.1.024.



## INTRODUCCIÓN

El crudo usado como diluyente en el Distrito Morichal proviene de la producción del Distrito Norte del Estado Monagas, específicamente de las estaciones Orocuál y Boquerón, este crudo es transferido hacia el Centro de Almacenamiento y Transporte de Crudo Jusepín (CATCJ) a través de una tubería de 20 pulgadas, en un intervalo de 10 horas aproximadamente, en el período restante la tubería de 20 pulgadas servirá para enviar crudo Mesa 30, desde CATCJ, hasta Azaguas, donde se incorpora el crudo procedente de Quiriquire; aproximadamente a 4 km. de QE-1 se encuentra la interconexión de los oleoductos 20 pulgadas (CATC Jusepín / Caripito) y 30 pulgadas (Estación Principal Temblador-1 (EPT-1 / Caripito). El diluyente continúa su recorrido pasando por JOBO 2, JN-7 hasta llegar al Centro Operativo Morichal (COMOR) y desde allí el diluyente es trasladado a las estaciones de flujo del área extracción extrapesado O-16 y J-20.

En el Distrito Morichal desde el mes de Enero hasta Mayo 2009 la formulación de Merey 16, se realizó con nafta proveniente de los mejoradores de las empresas Petromonagas, Petropiar y Sinovensa. En virtud de que para el mes de Agosto 2009, se arrancaron los pozos del centro operativo Petromonagas, el diluyente generado por los mejoradores referidos, fue utilizado para el levantamiento de la producción de dicho campo.

Debido a lo anterior expuesto surge la necesidad de evaluar todos los sistemas necesarios para el manejo de diluyente Mesa 30, el cual es utilizado para la formulación de Merey 16. Dentro de estos sistemas, se encuentran las líneas de transferencia de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20. La adecuación de dichas líneas, deberá estar visualizada para soportar el crecimiento previsto por las explotaciones 2010-2020, garantizando el suministro continuo de diluyente (Mesa 30).

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Sistema de transferencia y bombeo actual de diluyente del área extracción extrapesado del Distrito Morichal está conformado por dos (2) tanques de almacenamiento de diluyente Tk-20001 y Tk-20002 ubicados en COMOR (Centro Operativo Morichal) de allí derivan dos (2) líneas paralelas de 10 pulgadas y 12 pulgadas que bombean a las EF (Estaciones de Flujo) O-16 y J-20 respectivamente. A la llegada del km 9 la línea de 10 pulgadas tiene una derivación de 6 pulgadas y 10 pulgadas de diámetro, dichas líneas entran al tanque de almacenamiento de diluyente Tk-5001 ubicado en la EF O-16 y a la llegada del km 0 la línea de 12 pulgadas se divide en una de 8 pulgadas y 6 pulgadas de diámetro y dichas líneas entran al tanque de almacenamiento de diluyente Tk-5003 ubicado en la Estación de Flujo J-20.

Debido al aumento de producción 2010-2020 se requiere evaluar dicho sistema de transferencia y bombeo de diluyente Mesa 30 con la finalidad de incrementar la capacidad y confiabilidad operacional del mismo así como sus equipos (Bombas, Tanques) para así saber si estos operan con la nueva volumetría planteada en el (PDO) portafolio de oportunidades 2010-2020.

En consecuencia, el presente proyecto se llevo a cabo realizando una evaluación hidráulica del sistema de transferencia y bombeo evaluando así sus condiciones actuales, al igual se simuló dicho sistema de acuerdo a la nueva volumetría a manejar para verificar si este cumplirá con los nuevos requerimientos.



## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Evaluar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20 del área extracción extrapesado del Distrito Morichal.

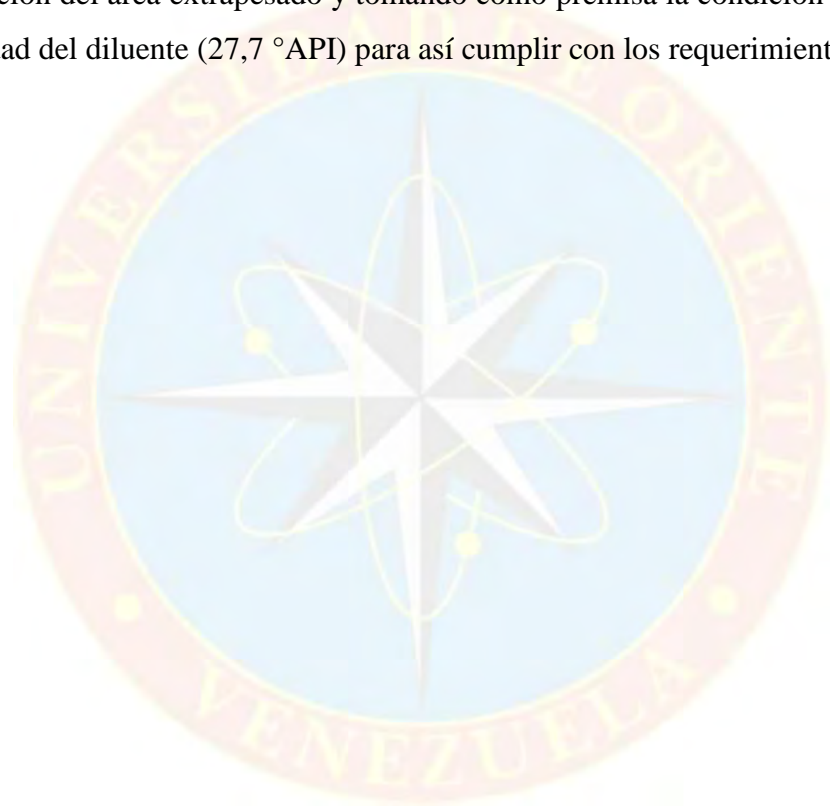
### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Describir el Sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20.
- Modelar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente a sus condiciones y volumetría actual mediante el software PIPEPHASE 9.1
- Simular el sistema de transferencia y bombeo de diluyente de acuerdo al plan de Exploración y Producción 2010-2020 mediante el software PIPEPHASE 9.1
- Evaluar las bombas existentes para verificar si estas operarían con la nueva volumetría a manejar.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo al Portafolio de Oportunidades (PDO) 2010-2020, el área extrapesado contempla un crecimiento con requerimiento de infraestructura a nivel de estaciones de flujo (O-16 y J-20) y planta de tratamiento, siendo necesario garantizar la continuidad operacional mediante la adecuación de la capacidad en las instalaciones de superficie utilizadas para: el almacenamiento y el transporte de

fluidos. En virtud a lo anterior expuesto surge la necesidad de evaluar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde las salida de los tanques 20001 y 20002 en el Centro Operativo Morichal (COMOR) hasta la entrada de los tanques 5001 y 5003 en las estaciones de flujo O-16 y J-20 respectivamente. La evaluación y adecuación de dichas líneas, contemplará el crecimiento previsto por las explotaciones 2010-2020, garantizando el suministro continuo de diluyente (Mesa 30), incrementando la producción del área extrapesado y tomando como premisa la condición más crítica de la calidad del diluyente (27,7 °API) para así cumplir con los requerimientos de diseño.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

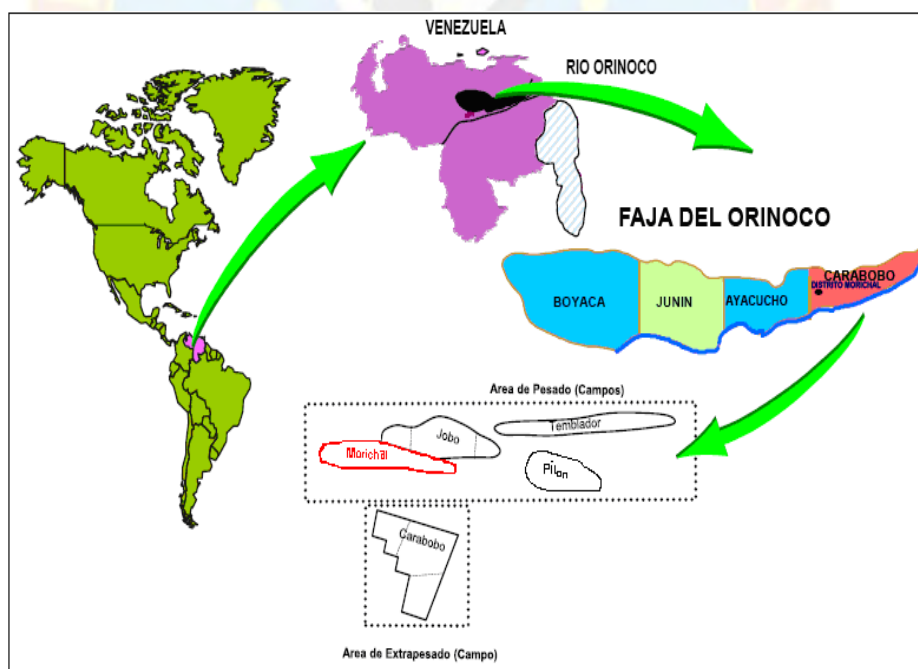
**Rivas, A. (2006)**, Realizó un trabajo en el Distrito Morichal titulado: “Evaluación hidráulica del sistema de transferencia o red de recolección de crudo del Área de Extracción Pesado”. En el mismo se evaluaron los parámetros de caída de presión mediante la variación de la temperatura y viscosidad, y el incremento de flujo a nivel de cada estación, donde se obtuvo un perfil teórico de presión a través del sistema en estudio. De acuerdo a los resultados se observó que el incremento de presiones al nivel de las estaciones de flujo más lejanas a la Estación Principal Temblador 1, es debido al estado de operatividad del oleoducto, es decir, las líneas de flujo presentaron alto nivel de incrustaciones, y por ende obstrucción de los equipos que transporta la producción del área.

**Leiba, D. (2007)**, Desarrolló un trabajo de grado, titulado “Diseño Conceptual de una Red de Distribución de Diluyente para Pozos Productores de Crudo Pesado del Campo Limón, U.P Mediano Distrito San Tomé” el estudio evaluó el diseño de la infraestructura necesaria para la instalación de una red de distribución de diluyente para pozos productores de crudo pesado del Campo Limón; para ello se identificó su comportamiento de producción a través de la historia de producción obtenidas de OFM; se evaluó la infraestructura disponible en las estaciones que constituyen este campo, se determinó el volumen de diluyente necesario para transportar la producción de los pozos productores de crudo pesado, se formularon y simularon bajo ciertos factores de diseño establecidos por las normas de la empresa, distintos escenarios para seleccionar la alternativa con mayor rentabilidad técnico-económica. Concluyéndose que el método de levantamiento artificial por gas aplicado a los pozos

productores de crudo pesado de este campo genera altas tasas de gas en las líneas de flujo; los pozos no presentaron una misma relación % Vc/Vd; se requieren 1500 BPD de diluyente para transportar el crudo de los pozos del Campo Limón.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El campo Morichal esta ubicado al Sur-Oeste de la ciudad de Maturín, en el Distrito Morichal del estado Monagas con una ubicación geográfica: N: 111.500 y E: 237.000. Esta es una importante región petrolera del Oriente Venezolano, de superficie plana y arenosa, cuenta con yacimientos de crudo pesado y extrapesado; así como también grandes volúmenes de reserva que tiene la faja petrolífera del Orinoco.



**Figura 2.1 Ubicación del área a estudiar**

**Fuente: PDVSA**

## **2.3 BASES TEÓRICAS**

### **2.3.1 Dilución de Crudo Pesado y Extrapesado**

Es un proceso para facilitar el transporte del crudo que consiste en mezclar un crudo pesado o extrapesado con un fluido menos viscoso conocido como diluyente, el cual puede estar constituido por hidrocarburos medianos, livianos o derivados del petróleo tales como nafta o kerosén; en una proporción tal que permita obtener una mezcla de viscosidad intermedia y facilitar su movimiento a través de los oleoductos en condiciones operacionalmente aceptables. Esto es, diluir el crudo hasta conseguir la mezcla transportable a través de las líneas de producción del pozo, líneas de flujo superficiales y equipos de tratamiento. Para que esto suceda habrá que determinar la calidad y cantidad de diluyente necesarios para conseguir la mezcla deseada.

La proporción barril de diluyente/barril de crudo extraído, se estima mediante el análisis de los dos fluidos y dependiendo del requerimiento del API de las mezclas se dosifica el diluyente al pozo. Este procedimiento se justifica en el valor agregado que aporta el diluyente al crudo pesado y a los grandes volúmenes de pesado y extrapesado que se estiman son producidos mediante este método.

Desde el punto de vista físico-químico, el efecto del diluyente sobre la mezcla se considera que inicialmente las moléculas del crudo son bastante grandes y la separación entre ellas es muy pequeña; por lo tanto, al agregar el diluyente, las moléculas de éste se interponen entre las moléculas del crudo, aumentando su separación.

Este efecto conduce a la disminución de la viscosidad del crudo y puede observarse que al aumentar la proporción del diluyente en la mezcla, la separación intermolecular debe aumentar y consecuentemente continuará reduciéndose la

viscosidad, hasta un momento en el cual la viscosidad de la mezcla sea mínima o igual a la del diluyente utilizado.

Dependiendo del método de levantamiento artificial, el diluyente puede ser inyectado en el fondo del pozo o en la línea de flujo a través del cabezal. La inyección en el fondo del pozo se realiza principalmente en el bombeo mecánico con la finalidad de disminuir la viscosidad del crudo de formación, lubricar las cabillas y con ello evitar la elongación.

En este caso el diluyente es inyectado por el revestidor, mezclándose con el crudo pesado o extrapesado en el fondo del pozo y de aquí la mezcla es transportada por medio de la tubería de producción hasta la superficie y de ahí, es enviada a la estación recolectora, a través de la línea de flujo. La inyección en el fondo del pozo se emplea en los métodos de bombeo de cavidad progresiva y electrosumergible, para solventar los problemas operacionales tales como mantener el nivel de fluido de sumergencia de la bomba o cuando el pozo está presionado como consecuencia de la alta viscosidad del fluido.

También puede hacerse a la succión o a la descarga de la bomba. La ventaja de hacerlo a la succión es que la viscosidad de los fluidos a la entrada disminuye, lo cual propicia un mayor llenado de la cavidad de la bomba aumentando así su eficiencia volumétrica. Esta opción tiene la desventaja que la bomba manejará el volumen de los fluidos del yacimiento y el diluyente que es inyectado, lo cual disminuye la eficiencia global del sistema.

No obstante, la inyección del diluyente presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas cuando se desea instalar un sistema de distribución de diluyente para pozos productores de crudo pesado y extrapesado, entre ellas se tienen:



- Volumen requerido para el abastecimiento del sistema
- Especificaciones como gravedad API, viscosidad, etc
- Compatibilidad con los crudos que han de ser diluidos

### **2.3.2 Erosión en Tubería con Flujo Multifásico**

Los sistemas de flujo multifásico están casi siempre acompañados por erosión, especialmente en el caso de líneas de proceso diseñadas para transportar flujos a alta velocidad dentro del régimen anular o de neblina. El siguiente criterio empírico se utiliza para evitar la posibilidad de erosión en una tubería de acero al carbono.

### **2.3.3 Estaciones de flujo**

Las estaciones de flujo son instalaciones que poseen un conjunto de equipos interrelacionados que tienen como función recolectar la producción bruta de crudo proveniente de los pozos, separar parte del gas asociado, y enviar el crudo al patio de almacenamiento u otra planta o estación de tratamiento.

El líquido (petróleo y agua) y gas asociado que sale de los pozos llega a través de líneas de flujo hasta la estación de flujo, donde es recibido en el múltiple o cañón de producción general, de allí es enviado hacia los separadores, mediante líneas de flujo. El gas sale por el tope de los separadores generales y va al depurador, donde deja los residuos de crudo que pueden haber quedado en la separación, luego se envía hacia las plantas de compresión o miniplantas para ser usado posteriormente en proyectos de inyección, levantamiento artificial, gas combustible, gas industrial, gas doméstico, etc. Por otro lado, el líquido se envía a los tanques de almacenamiento, de donde será bombeado hacia los patios de tanques.

En algunas estaciones de flujo, donde el caso lo amerite, el líquido luego que sale del separador es sometido a un proceso de deshidratación para eliminar el agua, la cual resulta dañina para los equipos y tuberías debido a que ésta contiene sales inorgánicas, tales como cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, calcio o magnesio, susceptibles de provocar la corrosión e incrustaciones en los sistemas.

### **2.3.4 Gradiente de Presión en Tuberías Horizontales**

Una de las etapas de producción es el transporte de fluido desde el cabezal del pozo hasta las instalaciones de superficie o entre dos estaciones, el problema del flujo multifásico horizontal se considera tan complejo como el flujo multifásico vertical. Para el diseño de la tubería de gran longitud es necesario conocer las caídas de presión a lo largo de ella. El flujo multifásico en líneas de flujo es un problema difícil de modelar matemáticamente; no obstante varias correlaciones empíricas han aparecido en la literatura en los últimos años, donde el cálculo se lleva a cabo considerando el sistema de hidrocarburos compuesto por pseudo componentes denotados como petróleo, agua y gas, cada uno de los cuales posee una composición fija.

Para seleccionar el diámetro óptimo de la tubería que conforma la línea de flujo de un pozo es necesario conocer el perfil de presiones que el fluido tendrá a lo largo de esta, es decir, determinar la curva de gradiente, la cual permite visualizar las pérdidas de presión del fluido en todos los puntos de la línea.

El gradiente de presión, es decir, la tasa de cambio de la presión con respecto a la unidad de la longitud de flujo, es el resultado de la sumatoria de las pérdidas por: fricción, elevación y aceleración; siendo las pérdidas totales ( $dP / dL$ ) calculadas a través de la ecuación.2.1. Para flujo horizontal se debe principalmente a la fricción.



$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} = \frac{1}{144} \left( \frac{g * \rho * \text{sen}\theta}{gc} + \frac{fm * \rho * v^2}{2 * gc * d} + \frac{\rho * \Delta v^2}{2 * gc * \Delta Z} \right) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión en un tramo de la tubería (lpc)

$\Delta Z$  = Longitud de la tubería (pie)

$\rho$  = Densidad de la mezcla. (lb/pie<sup>3</sup>)

$Fm$  = Factor de fricción de la mezcla (Adimensional)

$v$  = Velocidad de la mezcla (pie/s)

$d$  = Diámetro de la tubería (pie)

$g$  = Aceleración debido a la gravedad (32.2 pie/sg<sup>2</sup>)

$gc$  = Factor de conversión (32.174 pie\*lbm/seg<sup>2</sup>lbf)

Tenemos que:

$$\frac{(\Delta P)}{(\Delta Z)E} = \frac{g * \rho * \text{sen}\theta}{gc} ; \text{Gradiente de Presión por Elevación}$$

$$\frac{(\Delta P)}{(\Delta Z)F} = \frac{fm * \rho * v^2}{2 * gc * d} ; \text{Gradiente de Presión por Fricción}$$

$$\frac{(\Delta P)}{(\Delta Z)A} = \frac{\rho * \Delta v^2}{2 * g_c * \Delta Z}; \text{ Gradiente de Presión por Aceleración}$$

Las pérdidas de presión en flujo multifásico horizontal pueden llegar a ser de 5 a 10 veces mayores que las ocurridas en flujo monofásico, esto se debe a que la fase gaseosa se desliza sobre la fase líquida, separadas ambas por una interfase que puede ser lisa o irregular dependiendo del régimen de flujo existente. Sin embargo, en ambos sistemas (monofásico y multifásico), las pérdidas que se producen son de dos tipos: primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias se producen por el contacto del fluido con las paredes de la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento) y las secundarias son producidas por las transiciones del flujo (estrechamientos o expansiones de la corriente) y por los accesorios presentes en el sistema de tuberías.

Las pérdidas por fricción es uno de los principales factores que influyen en la producción de un pozo y en el transporte del fluido por tuberías. Estas pérdidas están directamente asociadas a la viscosidad del crudo la cual es la razón por la que se inyecta el diluyente.

El número adimensional “*f*” depende de otros dos números, también adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto. La rugosidad puede variar debido a la formación de depósitos sobre la pared, o debido a la corrosión de los tubos.

Uno de los métodos más extensamente empleados para evaluar el factor de fricción hace uso del diagrama de Moody. La ecuación de Hagen Poiseuille

transformada determina el factor de fricción en flujos laminar, ecuación. 2.2, y la ecuación de Colebrook en flujos en transición y turbulentos, ecuación. 2.3.

$$f = 64 / Re \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$f^{0,5} = - 2.0 \text{ Log } (((\epsilon/d) / 3,7) + 2,51 / Re f^{0,5}) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

*Re*: Numero de Reynolds (Adimensional)

*f*: Factor de Fricción (Adimensional)

### 2.3.5 Líneas de Flujo

Es la tubería que conecta el cabezal de un pozo con el múltiple de producción de su correspondiente estación de flujo, su función es transportar el crudo a través de toda esta conexión. El diámetro de las líneas de flujo varía entre 2 y 10 pulgadas dependiendo de las condiciones de operación de la línea tales como: tasa de producción, viscosidad, densidad del crudo transportado y presión en el cabezal del pozo.

Las líneas de flujo se diseñan de acuerdo a la máxima presión de operación, el caudal de flujo a manejar, la longitud de la línea, la variación de presión tolerable, las condiciones geográficas y del suelo y el mantenimiento requerido. Con estos datos es posible seleccionar el diámetro de línea, el peso y el tipo de tubería.



**Figura 2.2 Línea de Flujo**

### 2.3.6 Número de Reynolds

Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. El número de Reynolds es:

$$\text{Re} = \frac{D v_s \rho}{\mu}$$

Ecuación 2.4

Donde

$\rho$ : densidad del fluido

$v_s$ : velocidad característica del fluido

$D$ : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

$\mu$ : viscosidad del fluido

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido

Para estudios técnicos, el régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2 000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4 000. Entre estos dos valores está la zona denominada “crítica” donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación. La experimentación cuidadosa ha determinado que la zona laminar puede acabar en números de Reynolds tan bajos como 1 200 o extenderse hasta los 40 000, pero estas condiciones no se presentan en la práctica.

### 2.3.7 Variables de Proceso

En el análisis de un sistema de tubería, se deben considerar los siguientes parámetros:

- Las pérdidas de energía del sistema
- La velocidad o caudal del fluido circulante por la tubería
- El diámetro de la tubería
- La longitud de la tubería
- La rugosidad de la pared de la tubería
- Las propiedades del fluido

## 2.4 TÉRMINOS BÁSICOS

- **Bomba centrífuga:** es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas.

- **Bomba tornillo:** es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo, que se diferencia de las habituales, más conocidas como bombas centrífugas. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el tornillo y la camisa.
- **Caída de presión:** pérdida de la presión entre dos puntos de tubería, situados a ambos lados de una válvula, debido al rozamiento hidráulico.
- **Cavitación:** la cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.
- **Diluyente:** sustancia que se utiliza para separar las partículas o moléculas de un cuerpo sólido o espeso por medio de otra generalmente menos espesa y volátil, hasta lograr una mezcla homogénea.
- **Estaciones de flujo:** es el conjunto de equipos interconectados para recibir, separar, almacenar temporalmente y bombear los fluidos provenientes de los pozos ubicados en su vecindad. El funcionamiento de las estaciones de flujo se basa en recibir el líquido proveniente de los pozos, en el múltiple o cañón de producción general y luego va a los separadores generales; donde el gas sale por el tope del separador y va al depurador, el líquido sale de los separadores y es transferido a los tanques de recolección. El volumen de los fluidos es medido en separador y tanque con instrumentos de medición.



- **Flujo laminar:** movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin mezclarse si la corriente tiene lugar entre dos planos paralelos, o en capas cilíndricas coaxiales.
- **Flujo turbulento:** cuando el flujo másico en una tubería aumenta hasta valores del número de Reynolds superiores a 2100 el flujo dentro de la tubería se vuelve errático y se produce la mezcla transversal del líquido.
- **Línea de distribución de diluyente:** es una tubería que maneja petróleo de gravedad específica menor a la del crudo de formación objeto de inyección. También conocido como diluenducto.
- **Merey 16:** es la denominación comercial de un crudo pesado de 16 grados API, producto de un proceso de mezcla de crudos del Oriente de Venezuela. Por ser un crudo pesado, el Merey 16 requiere de conversión profunda en el proceso de refinación.
- **Mesa 30:** es la denominación comercial de un crudo mediano de aproximadamente 30 grados API, producto de un proceso de mezcla de crudos del Oriente de Venezuela.
- **NPSH Disponible:** es el término comúnmente usado para designar al Cabezal Neto de Succión Positivo disponible, y se define como el margen entre la presión actual al nivel de referencia de la bomba y la presión de vapor a la temperatura de bombeo del líquido, convertido a cabezal del líquido bombeado.
- **Presión de descarga máxima:** Es la Máxima presión de succión posible a ser encontrada, más la presión diferencial Máxima que la bomba es capaz de desarrollar cuando se opera a la condición especificada de velocidad, gravedad específica, y temperatura de bombeo con el impulsor suministrado (según API 610).

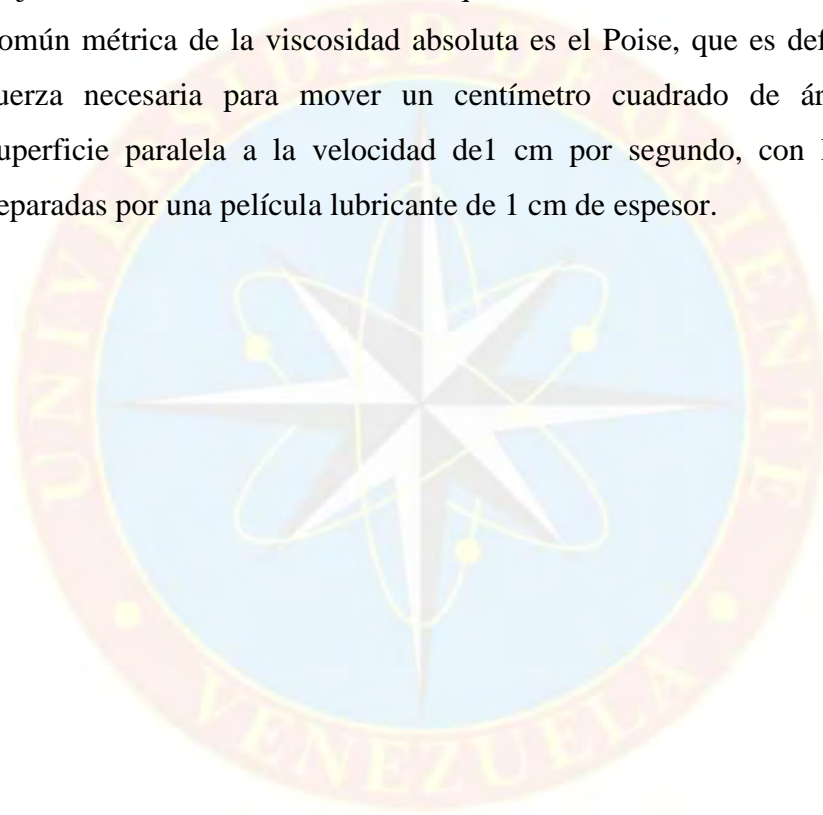
- **Presión de descarga nominal:** Es la presión de descarga de la bomba en el punto de garantía con la capacidad, velocidad, presión de succión y densidad absoluta nominales (según API 610).
- **Presión de diseño:** Es la mínima presión para la cual la bomba, su cuerpo y bridas deben ser seguros para operación continua a la temperatura de diseño, considerando el agotamiento de la holgura para corrosión estipulada.
- **Presión de succión máxima:** Es la presión de succión más alta a la cual la bomba es sometida durante la operación (según API 610).
- **Presión de succión nominal:** es la presión de succión para las condiciones de operación en el punto de garantía (según API 610).
- **Tanques de techo fijo:** los tanques de techo fijo son recipientes que poseen una cubierta cilíndrica y un techo fijo. El tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de líquido. Las ventilaciones en el techo permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica, pero produciéndose pérdidas por las válvulas de respiración o venteo. El tanque de techo fijo normalmente almacena crudos y productos poco volátiles. Los tanques de techo fijo modernos son de construcción soldada en su totalidad. Algunos tanques antiguos poseen construcción con pernos o remaches. Estos están disponibles en un rango de 20 a 300 pies de diámetro y hasta 65 pies de altura de la pared. Para el caso de mediciones estáticas en tanques de almacenamiento, se deberá tomar en cuenta, los siguientes elementos:

1. Tablas de calibraciones de los tanques, Tablas de densidades secas API; debidamente revisadas por la Coordinación Operacional, la Gerencia de Control Volumétrica de PDVSA.



2. Incertidumbre de las tablas de calibración, las cuales deben ser emitidas conjuntamente con la calibración de cada tanque.
  3. Para cada una de las variables primarias (niveles de líquido y de agua libre, temperaturas, gravedad API y porcentaje de agua en suspensión) deberán ser estimadas sus respectivas incertidumbres.
  4. Incertidumbre en la expansión térmica de la estructura del tanque.
  5. Incertidumbre de las tablas o ecuaciones API utilizadas.
  6. Procedimiento de cálculo.
  7. Número de repeticiones del cálculo del volumen neto.
- **Temperatura de bombeo nominal:** Es la temperatura de operación normal sobre la cual se basan las garantías y rangos de funcionamiento de la bomba.
  - **Temperatura de diseño:** Es la temperatura del metal para la cual la bomba, su cuerpo, bridas, holguras internas y estructuras de soporte deben ser seguros en operación continua a la presión de diseño. La temperatura de diseño es igual a la temperatura de bombeo nominal más un incremento para cubrir la flexibilidad operacional.
  - **Temperatura máxima:** Es la que normalmente controla y siempre se especifica. La temperatura mínima también se especifica cuando la temperatura más baja del líquido influye el diseño y la selección de material. Esto podría ocurrir por debajo de 15°C (60°F).
  - **Temperatura máxima permisible de trabajo:** es la mayor temperatura del fluido para la cual el suplidor ha diseñado la bomba para ser segura y operable. Esta temperatura deberá ser igual o mayor a la temperatura de diseño especificada.

- **Velocidad de erosión:** velocidad por encima de la cual ocurriría una erosión excesiva, con el peligro de que la tubería falle.
- **Velocidad de la mezcla:** se define como la velocidad superficial del líquido más la velocidad superficial del gas.
- **Viscosidad:** propiedad de un fluido, la cual representa o mide su resistencia al flujo. Es la medida de la resistencia que ofrece un fluido a moverse. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor.



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En este proyecto se evaluó el comportamiento del sistema hidráulico de la red de tuberías que va desde COMOR, hasta las EF O-16 y J-20 en el área extrapesado del Distrito Morichal, mediante la determinación y el análisis de una serie de parámetros, conociendo el comportamiento de otras variables dependientes. Por tal motivo, se clasificó este proyecto, como una investigación de tipo descriptiva.

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Según Ramírez, “la investigación de campo puede ser extensiva, cuando se realiza en muestras o en poblaciones enteras; e intensiva cuando se concentra en casos particulares, sin la posibilidad de generalizar los resultados”. En vista de que se trabajo con datos provenientes de las mediciones de variables directamente en el área operacional, se puede decir que este proyecto se realizo bajo la modalidad de un diseño de investigación de campo intensivo.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Para esta Investigación se tomo como población todo el sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20. Y como muestra se tomaron los equipos que conforman dicho sistema los cuales son las bombas en la salida de los tanques de almacenamiento (P003-A/B/C/D/C) los tanques

de almacenamiento de diluyente en COMOR (TK-20001 y TK-20002) al igual que los ubicados en las estaciones de flujo O-16 y J-20 (TK-5001 y TK-5003).

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

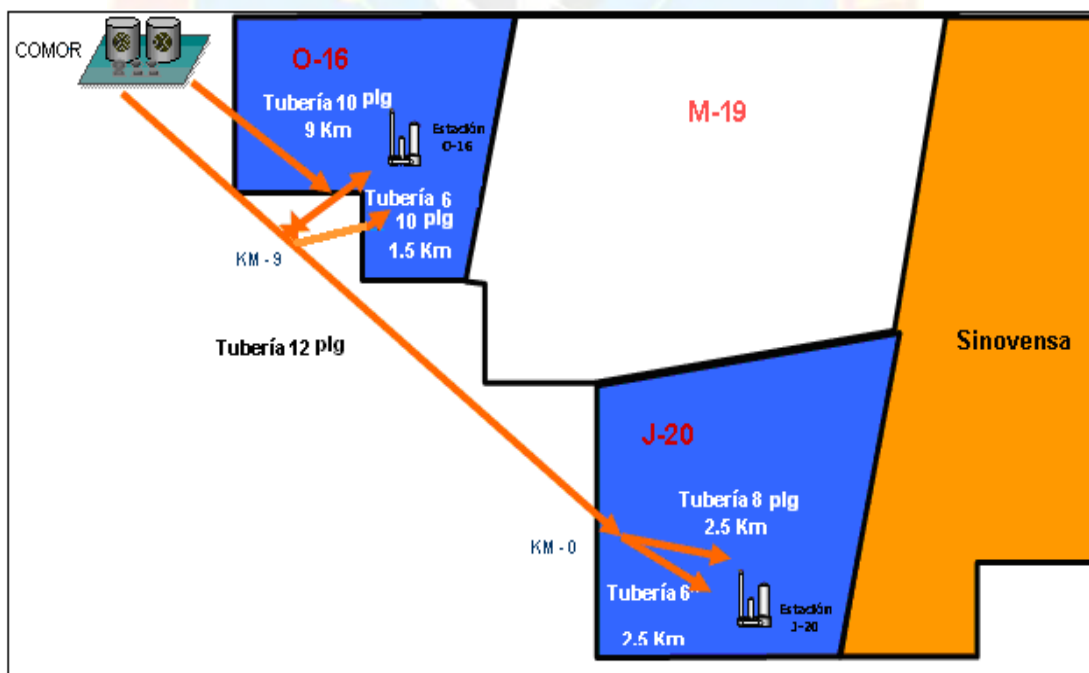
#### **3.4.1 Descripción del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente desde COMOR hasta las EF O16 y J-20**

Posterior a la recopilación de la información teórica (libros, folletos, normativas PDVSA) se procedió a estudiar de forma detallada la filosofía de operación del sistema de transferencia y bombeo de diluyente, para la cual fue necesario realizar visitas a COMOR y a las Estaciones de Flujo O-16 y J-20, con el objetivo de verificar el proceso y condiciones del mismo, tomando en cuenta todos los parámetros para el desarrollo de esta evaluación como lo son las condiciones de los 30 km de tuberías que compone todo el proceso de transferencia y bombeo de diluyente, números de bombas y tanques operativos.

Esto se llevó a cabo realizando un levantamiento de campo de las áreas en estudio tomando en cuenta todos los equipos que componen esta hidráulica (tanques, bombas, líneas de transferencia), midiendo cada una de las longitudes de las líneas y sus diámetros, así como también los accesorios que conforman el sistema (codos y válvulas) y cada una de sus especificaciones, al igual se tomó el nivel de la boquilla de los tanques con respecto a la succión y descarga de las bombas, como los niveles altos y bajos de los mismos para posteriormente evaluar todos los equipos de superficie del sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20.

Para dar inicio a la descripción del proceso primordialmente se realizó visitas al Centro Operativo Morichal específicamente en la salida de los tanques de almacenamiento de diluyente 20001 y 20002 para así evaluar las condiciones de las tuberías, sus accesorios, tanques y bombas (P003 A/B/C/D/E) con el fin de poder inspeccionar las condiciones y filosofía de operación de la hidráulica que conforma este proceso.

También se realizó visitas al km 9 y al km 0 para inspeccionar las condiciones de las tuberías, las interconexiones y accesorios allí presentes ya que desde estos puntos derivan las tuberías que entra a los tanques de almacenamiento de diluyente, como también se realizó el recorrido en las líneas ubicadas dentro de las estaciones de flujo O-16 y J-20 y de los accesorios que conforman este tramo del sistema.



**Figura 3.1 Esquema actual del sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta la estaciones de flujo O-16 y J-20**

En la figura 3.1 se observa el esquema completo del sistema de transferencia y bombeo de diluyente el cual está compuesto por dos líneas paralelas una de 10 y otra de 12 pulg las cuales bombean a las estaciones de flujo O-16 y J-20 respectivamente, al llegar al km 9 de la línea de 10 pulg salen dos líneas las de 6 y 10 pulg las cuales entran al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 ubicado en la EF O-16, y al llegar al km 0 de la línea de 12 pulg derivan otras de 6 y 8 pulg las cuales entran al tanque de almacenamiento de diluyente ubicado en la EF J-20

### **3.4.2 Modelación del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente a las Condiciones y Volumetría Actual Mediante el Software PIPEPHASE 9.1**

Para modelar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente se utilizo el software Pipephase 9.1 como herramienta principal el cual arrojo sus resultados de acuerdo a las condiciones existentes en que se encuentra este sistema de transferencia y bombeo. Esta evaluación se hizo a partir de dos puntos de viscosidad y dos puntos de temperatura ya establecidos, un caudal para la estación de flujo O-16 y otro para la estación de flujo J-20, una presión de succión la cual se determino de acuerdo al nivel bajo del los tanques 20001 y 20002 ubicados en COMOR los cuales trabajan a presión atmosférica y una presión de descarga de las bombas que se visualizo en el campo por medio de los manómetros, Al finalizar la simulación hidráulica la presión a la llegada de las estaciones de flujo arrojada por el simulador fue mayor a la visualizada en el campo, corroborando así que el sistema proporciona la energía necesaria para poder vencer la columna de fluido a la entrada de los tanques de almacenamiento en cada una de las respectivas estaciones de flujo.



**Tabla 3.1 Premisas de diseño para realizar la simulación hidráulica en el software Pipephase 9.1**

<b>Simulador</b>	<b>PIPEPHASE 9.1</b>
<b>Correlación</b>	<b>Beggs and Brill - Moody</b>
<b>Tipo de modelo</b>	<b>Network</b>
<b>Tipo de fluido</b>	<b>Black oil</b>
<b>Unidades</b>	<b>Petroleum</b>
<b>Presión de succión (lpc)</b>	<b>3,77</b>
<b>Presión de descarga (lpc)</b>	<b>220</b>
<b>Volumetría O-16 (BPD)</b>	<b>33000</b>
<b>Volumetría J-20 (BPD)</b>	<b>38000</b>
<b>°API</b>	<b>27,1</b>
<b>Gravedad específica del gas</b>	<b>0,67</b>
<b>Gravedad específica del agua</b>	<b>1,05</b>
<b>Viscosidad a 80°F (Cps)</b>	<b>10</b>
<b>Viscosidad a 104°F (Cps)</b>	<b>6</b>
<b>Temperatura ambiente °F</b>	<b>90</b>

En la tabla 3.1 se observan toda la data de entrada al simulador PIPEPHASE 9.1 para así poder evaluar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20, estos datos se recopilaron en documentos ya existentes y visualizados en campo.

Luego de realizar las simulaciones se procedió a evaluar las velocidades y caídas de presión arrojadas por el simulador, donde aquellas caídas de presión que no cumplieron con la normativa de PDVSA y poseían elevación se le resto el diferencial de energía potencial con el fin de ajustar los valores más parecidos a la realidad.

Para el cálculo del diferencial de energía potencial que se les resto a las caídas de presiones arrojadas por el simulador se aplico la siguiente actuación matemática:

$$\frac{\Delta p}{L} = g(m/s^2) * \rho(kg/m^3)$$

Ecuación 3. 1

Donde:

$\frac{\Delta p}{L}$  : Diferencial de energía potencial en (lpc/pie)

$g$  : Gravedad en ( $m/sg^2$ )

$\rho$  : Densidad de la mezcla en ( $kg/m^3$ )

El  $\frac{\Delta p}{L}$  obtenido fue de  $0,36$  lpc/pie este valor se le resto a la caída de presión arrojada por el simulador.

El cálculo realizado para determinar la energía potencial se demuestra en el apéndice D

### **3.4.3 Simulación del Sistema de Transferencia y Bombeo de Diluyente de acuerdo al Plan de Exploración y Producción 2010-2020 Mediante el Software PIPEPHASE 9.1**

Luego de realizar la evaluación hidráulica del sistema de transferencia y bombeo de diluyente a las condiciones actuales se procedió a la realizar la simulaciones del sistema de transferencia y bombeo de diluyente pero esta vez de acuerdo al plan de Exploración y Producción 2010-2020, en esta hidráulica también se aplico el software Pipephase 9.1 como herramienta principal, sin embargo esta vez se trabajo con un caudal de 49960 BPD para la estacione de flujo O-16 y 87560 BPD para la estación de flujo J-20, dicha volumetría es la indicada por el PDO (2010-2020), también se suministraron nuevos diámetros a las líneas que no cumplieron con los requerimientos según la norma PDVSA 90616.1.024 la cual establece un rango de velocidades y caídas de presión permisibles para realizar una evaluación hidráulica ya ponderados.



CAIDAS DE PRESION RECOMENDADAS		
Servicio	Perdida Friccional de Carga Hidrostática (pie del líquido/100 pies de tubería)	Notas
Líneas de transferencia:		
Agua	1 – 2	
Hidrocarburo	1 – 3	
Bomba Centrífuga:		– Verifique el NPSH Disponible: 6 pies/seg. velocidad máxima
Succión	1 – 3	
Descarga	2 – 4	

**Figura 3.2 Caídas de presión permisibles según norma PDVSA 90616.1.024**

En la figura 3.2 se observa que las caídas de presión arrojadas por el simulador en las líneas de succión no pueden pasar de 3 pie de líquido por cada 100 pie de tubería y las líneas de descarga no pueden pasar de 4 pie de líquido por cada 100 pie de tubería esto con el fin que cumplan con la normativa de PDVSA.

LIQUIDO Y LINEA	VELOCIDADES TÍPICAS DE LIQUIDOS EN TUBERIAS DE ACERO (KERN)		
	DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA (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 LIQUIDOS (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

**Figura 3.3 Velocidades permisibles según norma PDVSA 90616.1.024**

En la figura 3.3 se observa las velocidades permisibles que deben tener las líneas de succión y descarga para que puedan cumplir con la normativa de PDVSA las cuales se ponderan de acuerdo al diámetro de cada línea.

Para calcular la velocidad de erosión en cada línea correspondiente al sistema de recolección, se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$Verosión(\text{pie} / \text{seg}) = \frac{160}{\sqrt{\rho m}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

*Verosión* : Velocidad de erosión (pie/seg)

$\rho m$  : Densidad de la mezcla (lb/pie<sup>3</sup>)

Para el cálculo de las velocidades de diseño se utilizó la ecuación que se enuncia a continuación:

$$Vdiseño(\text{pie} / \text{seg}) = \frac{100}{\sqrt{\rho m}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

*Vdiseño* : Velocidad de diseño (pie/seg)

$\rho m$  : Densidad de la mezcla (lb/pie<sup>3</sup>)

Una vez calculadas las distintas velocidades para cada línea, estas debían ser comparadas por separado para determinar si cumplían con la condición previamente establecida:

$$\text{SI } Verosión > Vdiseño > Vmezcla \quad \text{CUMPLE} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$\text{SI } Verosión < Vdiseño < Vmezcla \quad \text{NO CUMPLE} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

*Vdiseño* : Velocidad de diseño (pie/seg)

*Verosión* : Velocidad de la erosión (pie/seg)

*Vmezcla*: Velocidad de la mezcla (pie/seg) (Arrojada por el simulador)

### **3.4.4 Evaluación de las Bombas Existentes para Verificar si estos Operarán con la Nueva Volumetría a Manejar**

Luego que se evaluó hidráulicamente el sistema de transferencia y bombeo de diluyente con la volumetría actual y con la volumetría del PDO y verifico que los sistemas operan con eficiencia se procedió a evaluar los equipos de superficie (Bombas P003-A/B/C/D/E) usando como data la del nuevo plan de exploración y producción 2010-2020, mediante ecuaciones ya establecidas para la evaluación de las mismas, las cuales cumplieron con los requerimientos de diseños corroborando así que cumplirán con el manejo de la nueva volumetría de diluyente (Mesa 30) a manejar en el área extra pesado del Distrito morichal el cual es utilizado para la formulación de Merey 16.

Para realizar la evaluación a estas bombas se determinaron diversos parámetros los cuales cumplieron con las especificaciones según norma, los cuales se muestran a continuación:

- **Velocidad de erosión ( $V_e$ ):** es la velocidad máxima en las tuberías, no debe nunca exceder el 62.5% de la velocidad de erosión calculada, es decir no puede exceder 13.625 pie/seg
- **Caudal de flujo volumétrico total máximo ( $Q_t$ ):** es el caudal máximo de flujo requerido de diluyente, de acuerdo al estimado presentado en la simulación del proceso.

- **Número de bombas operativas ( $N_{BO}$ ):** el número de bombas operativas son 5 bombas P003 las cuales tres bombean para la estación de flujo J-20 (P003-A/B/C) y dos bombean para la estación de flujo O-16 (D).
- **Caudal de flujo volumétrico unitario por bomba ( $Q_{UB}$ ):** es el caudal a ser manejado por cada bomba.
- **Caudal nominal especificado por bomba ( $Q_{NB}$ ):** es el caudal manejado por la bomba que especifique el fabricante.
- **Presión máxima de descarga del tanque  $P_{o(max)}$ :** es la presión de descarga del tanque en función de la altura del líquido que contiene. Para obtener la presión máxima de descarga se utiliza el nivel alto-alto de operación.
- **Presión mínima de descarga del tanque de recibo  $P_{O(min)}$ :** es la presión de descarga del tanque en función de la altura del líquido que contiene. Para obtener la presión mínima de descarga se utiliza el nivel bajo-bajo de operación.
- **Caída de presión en tuberías desde el tanque de recibo hasta las bombas P003-A/B/C/D/E :** se determino a partir de los resultados obtenidos en la hoja de datos para cada bomba.
- **Presión máxima de succión de las bombas  $P_{1(max)}$ :** la presión maxima de succión de las bombas es función de la presión maxima de descarga del tanque y las pedidas por fricción obtenidas en las tuberías
- **Presión mínima de succión de las bombas  $P_{1(min)}$ :** la presión minima de succión de las bombas es función de la presión minima de descarga del tanque y las pérdidas por fricción obtenidas en las tuberías.
- **Cabezal neto de succión positiva disponible ( $NPSH_D$ ):** el cabezal neto de succión positiva disponible se calculo para la condición más severa que corresponde a la presión mínima de succión de la bomba.

- **Factor de seguridad (Fs):** para el diseño se considero agregar un margen de seguridad en el cálculo y en la especificación del  $NPSH_D$ , se fijo un factor de seguridad de acuerdo en lo establecido por la norma PDVSA MDP-02.P-06 para servicios nuevos.
- **Cabezal neto de succión positiva específico ( $NPSH_R$ ):** se calculo a partir del  $NPSH_D$  y el factor de seguridad.
- **Presión de descarga de las bombas P003-A/B/C/D/E :** la presión de descarga en las bombas visualizada en los manómetros ubicados en campo.
- **Cabezal de velocidad en la succión ( $H_{v1}$ ) y descarga ( $H_{v2}$ ) de las bombas:** viene dado por la velocidad en la succión y descarga de las bombas operando a un 150% del caudal.
- **Requerimiento de cabezal de las bombas ( $H_B$ ):** brinda información acerca de la energía que debe ser capaz de suministrar cada bomba.
- **Presión máxima de descarga ( $P_{2\max}$ ):** corresponde a la condición de flujo cero (shut off). Se estimó una caída de presión máxima típica del 120% por encima de lo normal según la norma PDVSA MDP-02-P-02)
- **Potencia hidráulica de las bombas eléctricas (PH):** se obtuvo a partir del caudal que maneja cada bomba y las caídas de presión.
- **Potencia al freno de la bomba (Pf):** la potencia al freno de la bomba se obtuvo a partir de la potencia hidráulica y la eficiencia típica de las bombas centrífugas, establecida en las premisas de diseño de un 75% para este caso.
- **Potencia del motor eléctrico (PE):** la potencia eléctrica de la bomba se obtuvo a partir de la potencia de freno y la eficiencia del motor.

- **Temperatura de diseño ( $T_D$ ):** la temperatura de diseño para las bombas normalmente se especifica con un margen de 28°C (50°F) por encima de la temperatura nominal de bombeo.

### **3.5. HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1 Herramientas**

##### **3.5.1.1 Software PIPEPHASE 9.1**

PIPEPHASE 9.1 Es un programa de computación tipo simulador aplicable a redes de flujo de fluidos en estado estacionario o transitorio, que permite diseñar, evaluar y optimizar sistemas complejos de los mismos, a nivel de producción.

#### **3.5.2 Técnicas**

Esta investigación se realizó recopilando material documental de las diferentes bibliografías, como libros, folletos y manuales, y por medio de la información digital proveniente de internet y se tomaron datos de observaciones directas que se hicieron en la zona de estudio.

### **3.6 RECURSOS**

#### **3.6.1 Recursos Humanos**

El desarrollo de este proyecto contó con el apoyo del personal calificado que labora en las organizaciones pertenecientes a la corporación PDVSA, y en especial a la Gerencia de Procesos de Superficie del Distrito Morichal.



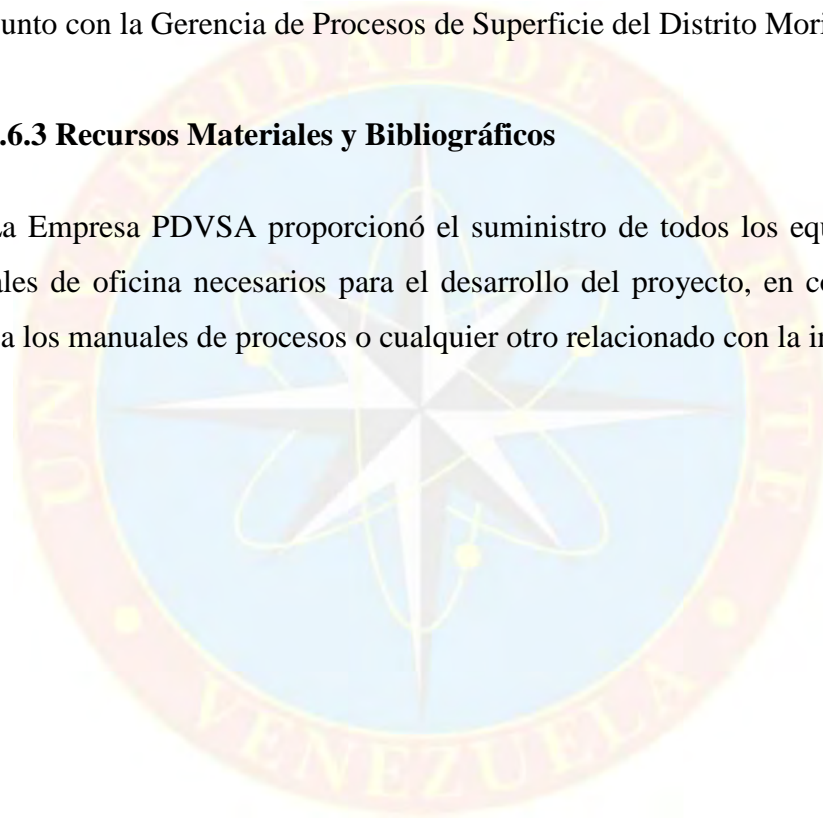
Por la parte académica, los Profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, quienes orientaron el desarrollo metodológico de esta investigación.

### **3.6.2 Recursos Financieros**

El presente estudio se realizó con el apoyo financiero de la misma corporación, en conjunto con la Gerencia de Procesos de Superficie del Distrito Morichal.

### **3.6.3 Recursos Materiales y Bibliográficos**

La Empresa PDVSA proporcionó el suministro de todos los equipos y demás materiales de oficina necesarios para el desarrollo del proyecto, en conjunto con el acceso a los manuales de procesos o cualquier otro relacionado con la investigación.

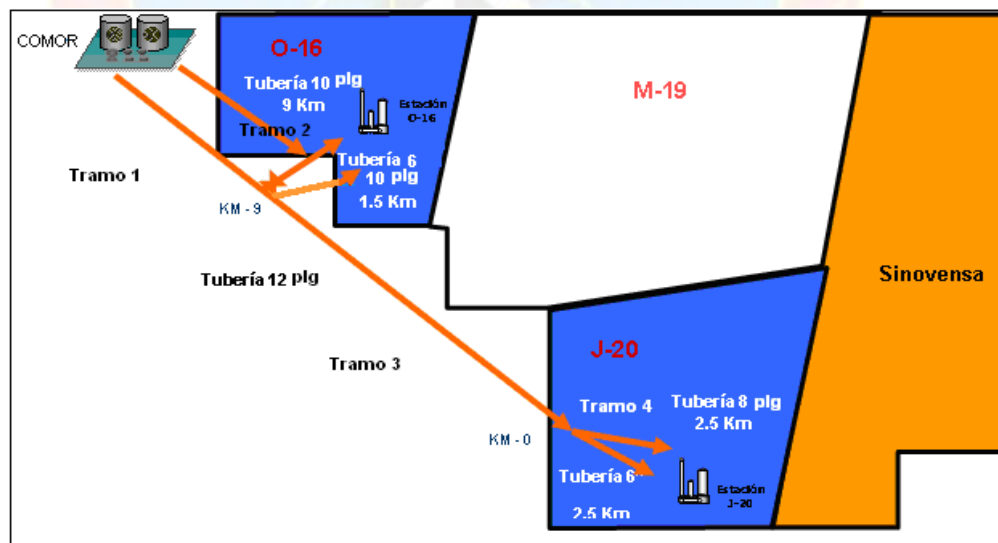


## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O16 Y J-20

Después de haber realizado el recorrido por las zonas que comprenden el sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta la EF O-16 y J-20 en el área extracción extra pesado del Distrito Morichal e identificar las rutas que siguen las diferentes líneas de transferencia, se procedió a realizar el levantamiento de campo de las áreas en estudios las cuales están comprendidas en diferentes tramos, esto con el objetivo de facilitar la descripción del proceso.



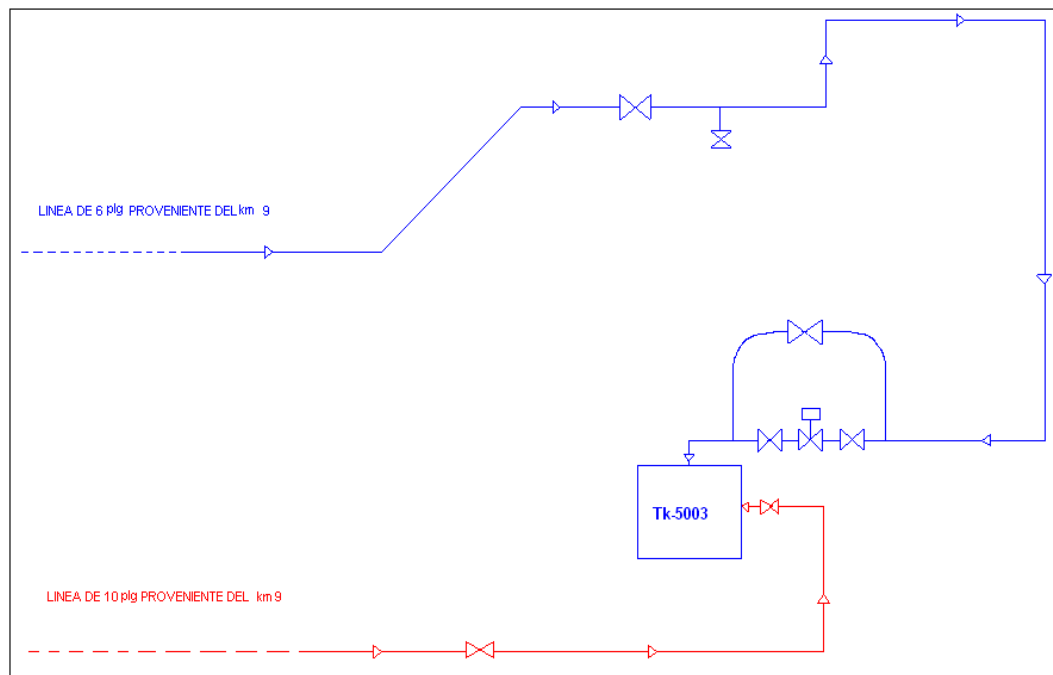
**Figura 4.1 Esquemático actual del sistema de transferencia y bombeo de diluyente.**

El proceso completo se dividió en cuatro tramos los cuales se mencionan a continuación:



EF O-16 lo cual contribuye al aumento de la producción de área extrapesado del Distrito Morichal.

#### 4.1.2 Levantamiento de Campo desde km 9 hasta la ef 0-16 (tramo 2)

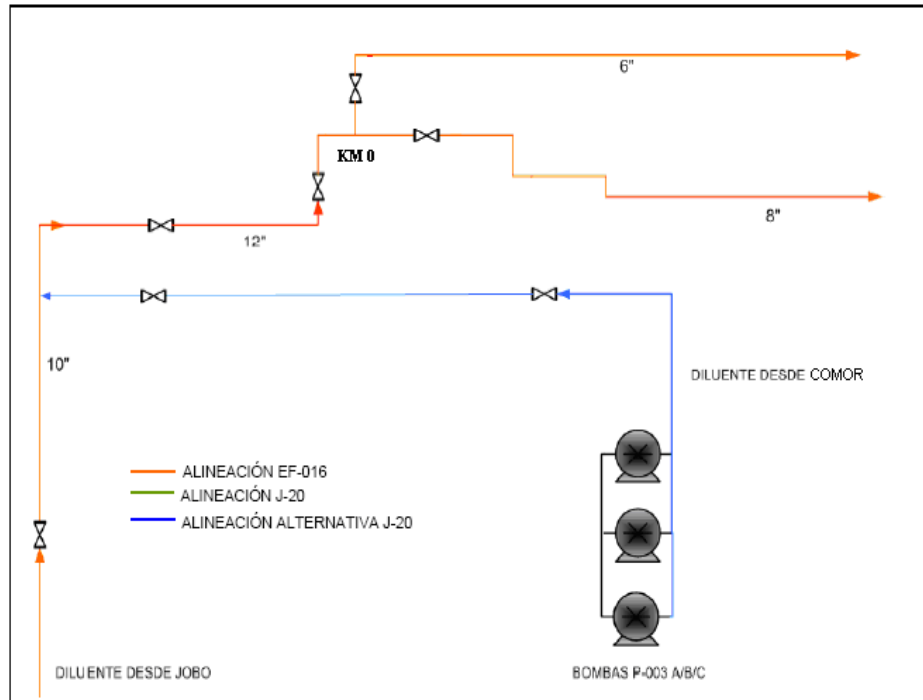


**Figura 4.3 Levantamiento de campo en la Estación de Flujo O-16.**

En la figura 4.3 se muestra que este tramo del proceso está comprendido por una distancia de 1.5 km de tuberías de 10 y 6 pulg de diámetro las cuales transfieren diluyente al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 ubicado en la EF O-16.

La línea de 6 pulg que entra al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 tiene un arreglo de válvulas a la entrada del tanque con el fin de originar una caída de presión en el sistema antes que el diluyente entre al tanque, esto se realiza siempre y cuando sea necesario hacerlo.

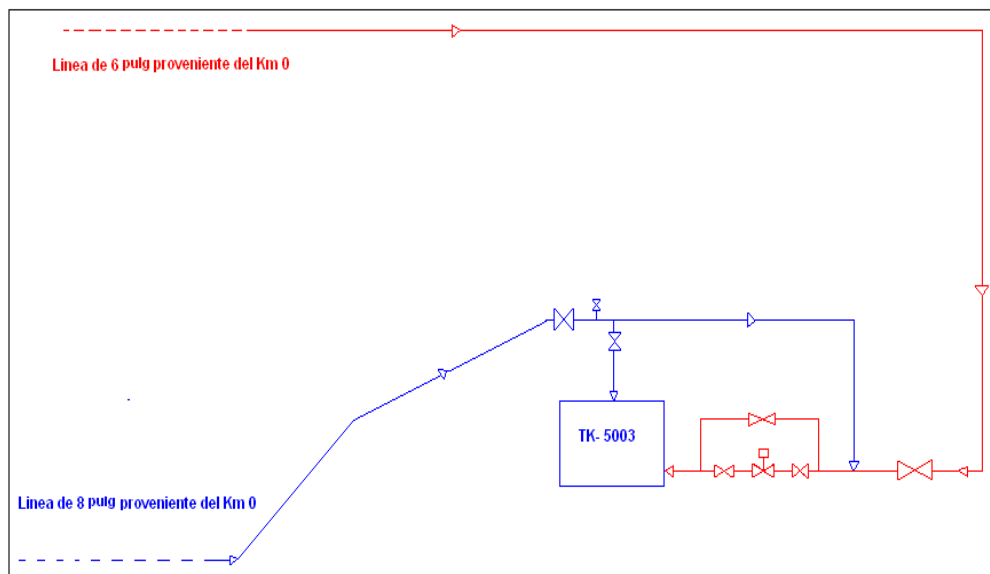
#### 4.1.3 Levantamiento de Campo desde COMOR hasta el km 0 (tramo 3)



**Figura 4.4 Levantamiento de campo desde COMOR hasta el km 0**

En la figura 4.4 se observa que desde COMOR hasta el km 0 (punto ubicado justamente 20 km de distancia desde COMOR y en el cual se derivan las líneas de 6 y 8 pulg de diámetro que entran al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 ubicado en la EF J-20) parte una línea de 12 pulg de diámetro sobre la cual ejercen con una presión de 220 lpc tres bombas centrífugas (P003 A/B/C) esto con el fin de bombear la cantidad necesaria de diluyente Mesa 30 (actualmente 38000 BPD) hacia la EF J-20 lo cual contribuye al aumento de la producción de área extrapesado del Distrito Morichal.

#### 4.1.4 Levantamiento de Campo desde km 0 hasta la ef j-20 (tramo 4)



**Figura 4.5 Levantamiento de campo en la Estación de Flujo J-20**

En la figura 4.5 se visualiza que en este tramo del proceso está comprendido por una distancia de 2.5 km de tuberías de 8 y 6 pulg de diámetro las cuales transfieren diluyente al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 ubicado en la EF J-20.

La línea de 6 pulg que entra al tanque de almacenamiento de diluyente 5003 tiene un arreglo de válvulas a la entrada del tanque con el fin de originar una caída de presión en el sistema antes que el diluyente entre al tanque, esto se realiza siempre y cuando sea necesario hacerlo.

Se observa que la línea de 8 pulg tiene doble conexión para entrada de el fluido al tanque de almacenamiento 5003, una principal y otra secundaria que está conectada con la línea de 6 pulg cada entrada está compuesta por arreglos de válvulas que permiten seleccionar porque boquilla es más conveniente la entrada del fluido al tanque, actualmente el diluyente entra al tanque por la boquilla principal que es la que se encuentra en la parte superior del tanque.



## **4.2 MODELACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE A SUS CONDICIONES Y VOLUMETRÍA ACTUAL MEDIANTE EL SOFTWARE PIPEPHASE 9.1**

Para simular el sistema de bombeo y transferencia de diluyente se utilizó el software Pipephase 9.1 como herramienta principal el cual arrojó sus resultados a partir de dos puntos de viscosidad ( $\mu_1= 10$  cps  $\mu_2= 6$  cps) y dos puntos de temperatura (80 °F y 104 °F) respectivamente, un caudal de 33000 Bpd para la estación de flujo O-16 y 38000 Bpd para la estación de flujo J-20, Los valores utilizados de las propiedades del fluido se visualizan en la figura 4.6.

La presión de succión utilizada se obtuvo de acuerdo al nivel bajo del tanque (20001 y 20002) ya que estos trabajan a una presión atmosférica.

El nivel bajo de dichos tanques es 9 pie, por ende la presión de succión tomada fue de 3.77 lpc.

Para realizar la evaluación hidráulica del sistema de transferencia y bombeo de diluyente se consideraron las siguientes bases y premisas de diseño:


- **Caracterización del fluido del sistema en estudio**

De acuerdo al análisis de laboratorio del 17/02/09, las características del diluyente Mesa 30 del área extrapesado del Distrito Morichal que se tomaron como data de entrada para la simulación con la herramienta técnica Pipephase 9.1 se muestran a continuación:

- **Flujos volumétricos**

Los flujos volumétricos manejados y tomando como premisa la condición más crítica de la calidad del diluyente (27,7 °API) son los siguientes:

- COMOR: 71 MBD
- Estación de Flujo J-20: 38 MBD
- Estación de Flujo O-16: 33 MBD

 <b>DISTRITO MORICHAL</b> GERENCIA DE OPERACIONES DE PRODUCCION TRATAMIENTO Y CALIDAD DE FLUIDOS CENTRO DE ANALISIS MORICHAL (CAM)												
VALORES TÍPICOS DEL CRUDO PROCESADO EN PLANTA MPE-1 MORICHAL												
FECHA: 17.02.2009												
Cliente/Solicitante: Joel Diaz												
Análisis: Valores típicos del crudo procesado en la planta MPE-1 Morichal												
Laboratorio: <input checked="" type="checkbox"/> MPE-HEPM												
Muestra: Crudo extraespesado+diluentes												
NUESTRA	% Ags	Gravedad API (90 °F)	Saturación (ppm)	Saturación (PPTB)	Densidad a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	Gravedad Específica a 30 °C	Flash Point (°C)	Presión de Vapor (Pv)	Punto de Fluidez (°C)	Acidez (mg/100g)	Viscosidad a 30 °C (mPas)	Viscosidad a 40 °C (mPas)
Crudo+nafta (entrada planta)	12,0	15,8	22.825	---	0,95865	0,86455	15	---	---	---	890	430
Crudo+Nafta (P203A/B)	0,0	15,0	---	15,0	0,94390	0,85100	15	---	---	---	890	420
Crudo+mesa 30 (entrada planta)	14,0	15,8	21.790	---	0,95495	0,86950	15	2,70	<-15	2,72	1200	720
Nafta (diluyente)	0,0	48,5	---	0,0	0,77205	0,77545	<10	---	---	---	1,4	1,2
Mesa 30 (diluyente)	0,0	31,0	---	8,0	0,85205	0,85553	<10	4,85	<-42	0,47	10	5

**Figura 4.6 Características del diluyente Mesa 30**

En la figura 4.6 se visualiza las características del diluyente Mesa 30 las cuales se usaron como data de entrada al simulador PIPEPHASE 9.1 para realizar la evaluación hidráulica de sistema completo.

- **Sistema de transferencia y bombeo de diluyente Mesa 30**

El Sistema de transferencia y bombeo actual de diluyente está conformado por dos líneas paralelas de 10 y 12 pulg de diámetro que sale desde COMOR para bombear a las EF O-16 y J-20 respectivamente.

A la llegada del km 9, la línea de 10 pulg tiene una derivación de 6 y 10 pulg y a la llegada del km 0 la línea de 12 pulg se divide en una de 8 y 6 pulg de diámetro.

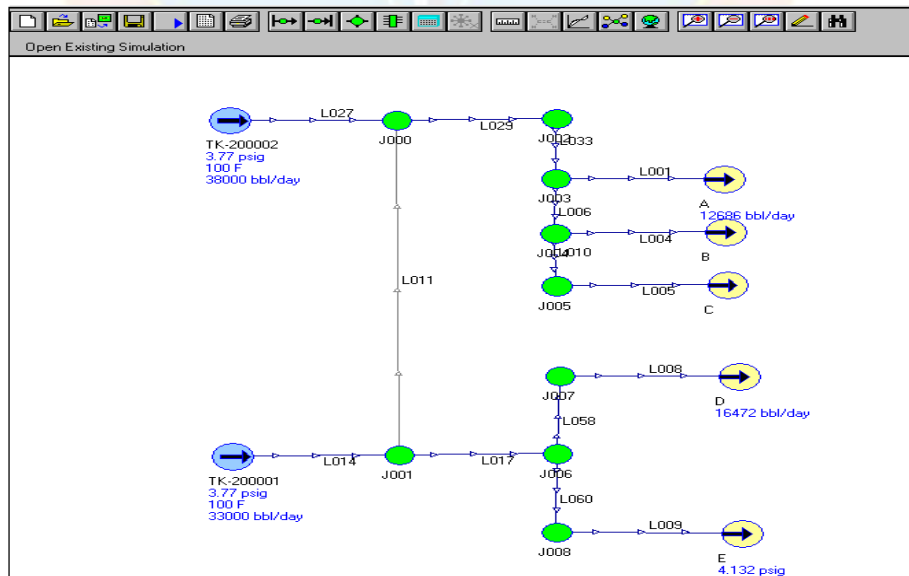
Para realizar la simulación de todo el sistema de transferencia y bombeo de diluyente se consideraron las siguientes condiciones:

- El diluyente a manejar es bajo la condición más crítica de 27,7 °API.
- Se considero un factor de seguridad para diseño del 20 % por encima del flujo total a manejar.
- Se consideró una filosofía de operación continua para el recibo y transferencia de crudo en el tanque de almacenamiento.
- La presión de descarga máxima del sistema de transferencia actual es de 220 lpc para el sistema de bombeo hacia la EF J-20 y de 220 lpc para la EF O-16, presión suficiente para bombear a las respectivas estaciones de flujo.
- Se consideró una filosofía de operación continua en el recibo de diluyente proveniente de Distrito Norte.

- La Evaluación hidráulica se realizó en el Software PIPEPHASE 9.1.
- Las caídas de presión deben cumplir con lo indicado en la normativa PDVSA 90616.1.024 las cuales se muestran en la figura 3.1.
- Las velocidades deben cumplir con lo indicado en la normativa PDVSA 90616.1.024 las cuales se muestran en la figura 3.2.

#### 4.2.1 Simulación Hidráulica del Sistema hasta la Succión de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR

Para realizar esta simulación las propiedades del diluyente se visualizan en la figura 4.6 la presión de succión fue de 3.77 lpc para cada tanque, unos caudales de 33000 Bpd para la O-16 y 38000 para la J-20, todo esto a una temperatura de 100° F, fijando estos valores se estimó el flujo que pasara por cada bomba y las presiones de succión de cada una, obteniendo como resultados:



**Figura 4.7 Simulación hidráulica hasta la succión de las bombas**

El sistema de transferencia hasta la succión de las bombas está compuesto por un cañón de 16 pulg el cual tiene una válvula de compuerta de 16 pulg para facilitar la interconexión entre los dos tanques de almacenamiento de diluyente como se observa en la figura 4.7, de este cañón de 16 pulg derivan cinco líneas cada una con un paquete de bombas diferentes, en la parte superior se cuenta con las líneas de succión de 6 pulg las cuales bombean 38000 BPD a la estación de flujo J-20, a estas se conectan las bombas P003 A/B/C y en la parte inferior se cuenta con las líneas de 8 pulg las cuales bombean 33000 BPD a la estación de flujo O-16 a estas se conectan las bombas P003 D/E.

Para evaluar el sistema de transferencia y bombeo de diluyente hasta la succión de las bombas se compararon las velocidades y caídas de presión de cada línea para verificar si estos cumplían o no con la normativa PDVSA 90616.1.024.

**Tabla 4.1 Presión de succión y caudales por cada bomba.**

<b>Presión de succión de cada bomba.</b>	<b>P (LPC)</b>
<b>Bomba P003-A</b>	<b>3,043</b>
<b>Bomba P003-B</b>	<b>3,041</b>
<b>Bomba P003-C</b>	<b>3,041</b>
<b>Bomba P003-D</b>	<b>3,102</b>
<b>Bomba P003-E</b>	<b>3,112</b>
<b>Caudal de succión de cada bomba.</b>	<b>Q (BPD)</b>
<b>Bomba P003-A</b>	<b>12686</b>
<b>Bomba P003-B</b>	<b>12661</b>
<b>Bomba P003-C</b>	<b>12653</b>
<b>Bomba P003-D</b>	<b>16472</b>
<b>Bomba P003-E</b>	<b>16528</b>

En la tabla 4.1 se observan los caudales y presión de succión arrojados por el simulador perteneciente a cada bomba ubicadas en COMOR.

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)		CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L001	P010	PIPE	2.60	2.60	0.00	-9.2E-4	-9.2E-4	-6.049E-4
L001	B008	BEND						
L001	P011	PIPE	2.60	2.60	0.00	-9.2E-4	-9.2E-4	-1.210E-3
L001	U005	VALV						
L001	P015	PIPE	2.60	2.60	0.00	-9.2E-4	-9.2E-4	-6.049E-4
L001	U008	VALV						
L001	B009	BEND						
L001	B010	BEND						
L001	P019	PIPE	2.60	2.60	0.00	-9.2E-4	-9.2E-4	-4.537E-4
L004	P020	PIPE	2.49	2.49	0.00	-8.5E-4	-8.5E-4	-5.586E-4
L004	B014	BEND						
L004	P021	PIPE	2.49	2.49	0.00	-8.5E-4	-8.5E-4	-1.117E-3
L004	U009	VALV						
L004	P022	PIPE	2.49	2.49	0.00	-8.5E-4	-8.5E-4	-5.586E-4
L004	U010	VALV						
L004	B015	BEND						
L004	B016	BEND						
L004	P023	PIPE	2.49	2.49	0.00	-8.5E-4	-8.5E-4	-4.189E-4
L005	P024	PIPE	2.43	2.43	0.00	-8.1E-4	-8.1E-4	-5.337E-4
L005	B017	BEND						
L005	P025	PIPE	2.43	2.43	0.00	-8.1E-4	-8.1E-4	-1.067E-3
L005	U011	VALV						
L005	P026	PIPE	2.43	2.43	0.00	-8.1E-4	-8.1E-4	-5.337E-4
L005	U012	VALV						
L005	B018	BEND						
L005	B019	BEND						
L005	P027	PIPE	2.43	2.43	0.00	-8.1E-4	-8.1E-4	-4.003E-4
L006	P017	PIPE	3.12	3.12	0.00	-9.6E-4	-9.6E-4	-9.434E-3
L007	P008	PIPE	4.76	4.76	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.025E-3
L007	U004	VALV						
L007	P009	PIPE	4.76	4.76	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.363E-2
L008	P028	PIPE	2.13	2.13	0.00	-6.4E-4	-6.4E-4	-8.456E-4
L008	U013	VALV						
L008	P029	PIPE	2.13	2.13	0.00	-6.4E-4	-6.4E-4	-4.862E-3
L008	B020	BEND						

Figura 4.8 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador

En la figura 4.8 se observa los valores arrojados por el simulador de las velocidades y caídas de presión de cada línea del sistema hasta la succión de las bombas, donde se obtuvo como resultado que todas las líneas cumplieron con las



especificaciones requeridas por la norma, las cuales se observan en las columnas señaladas.

Para poder comparar los resultados arrojados por el simulador los cuales se muestran en la segunda columna señalada en la figura 4.10 con el de la norma, antes se tiene que multiplicar por 100 cada uno de estos resultados arrojados, esto se hace en cada línea ya que la normativa establece un rango por cada 100 pies de tubería.

Los signos negativos en los resultados arrojados por el simulador en la columna de los gradientes de presión indican que hay ganancia de energía en este sistema debido a los datos topográficos suministrados al simulador los cuales se visualizan en el apéndice A.

VELOCITY SUMMARY									
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	VELOCITY (pie/seg)	CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)	
L014	P033	PIPE	2.72	2.72	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-1.196E-2	
L014	B011	BEND							
L014	P034	PIPE	2.72	2.72	0.00	-0.28	-0.28	-1.2	
L014	B012	BEND							
L014	P035	PIPE	2.72	2.72	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-2.712E-3	
L017	P036	PIPE	2.72	2.72	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-3.576E-2	
L017	B013	BEND							
L017	P056	PIPE	2.72	2.72	0.00	0.26	0.26	0.6	
L027	P002	PIPE	4.77	4.77	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-1.350E-3	
L027	V001	VALV							
L027	P003	PIPE	4.77	4.77	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.700E-2	
L027	B001	BEND							
L027	B002	BEND							
L027	P004	PIPE	4.77	4.77	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-5.130E-2	
L029	P005	PIPE	4.77	4.76	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-0.1	
L029	B003	BEND							
L029	P006	PIPE	4.76	4.76	0.00	-0.18	-0.18	-0.6	
L029	B004	BEND							
L058	P030	PIPE	1.35	1.35	0.00	-2.2E-4	-2.2E-4	-1.066E-3	
L060	P031	PIPE	1.37	1.37	0.00	-2.2E-4	-2.2E-4	-1.097E-3	

Figura 4.9 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador

En la figura 4.9 se observan que las líneas resaltadas son aquellas que no cumple con la norma PDVSA N° 90616.1.024, cabe destacar que estas líneas poseen elevación debido a la topografía del área por lo tanto hay que restarles el diferencial de energía potencial a las caídas de presión obtenidas por el simulador para poder compararlos con la norma.

**Tabla 4.2. Comparación de las diferentes caídas de presión obtenidas por el simulador y por la ecuación**

$\Delta P$ arrojado por el simulador (LPC)	$\Delta P$ arrojado por la ecuación de energía potencial(LPC)	$\Delta P$ final (por cada 100 pie de tubería) (LPC)
0,28	0,36	8
0,26	0,36	10
0,18	0,36	18

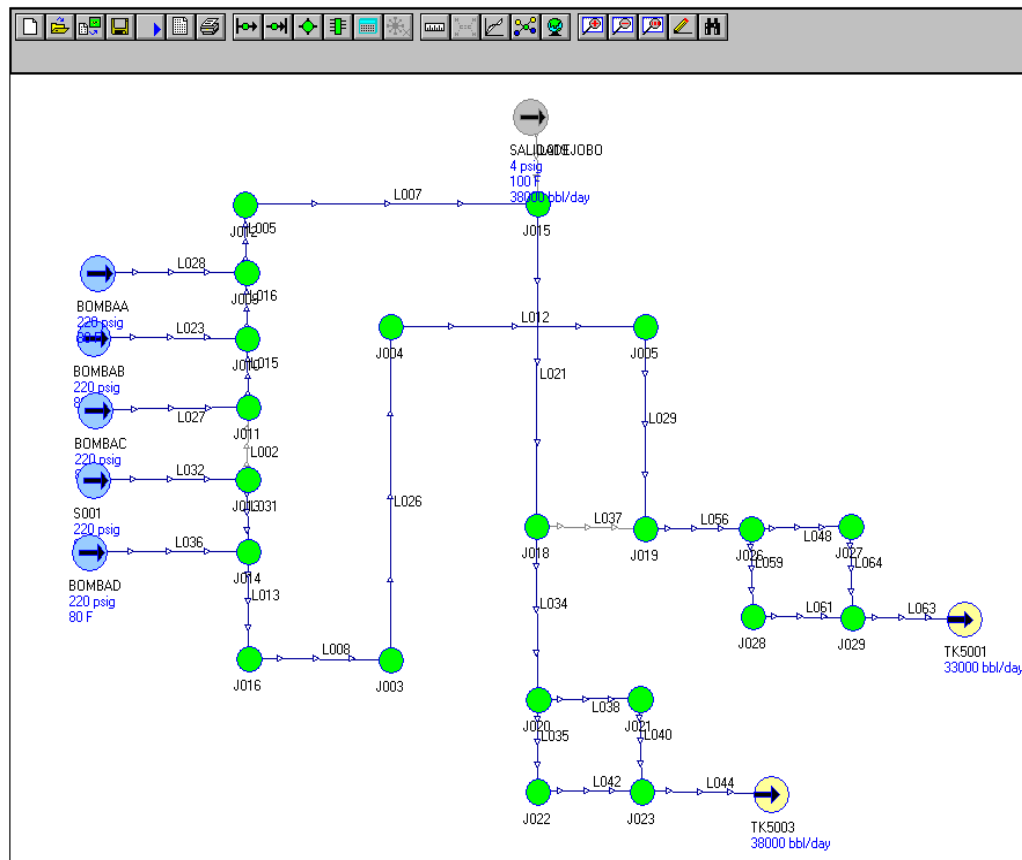
Como se puede observar en la tabla 4.2 las caídas de presión obtenidas luego de restarle a las arrojadas por el simulador al aplicar la ecuación de energía potencial sigue sin cumplir con la normativa, sin embargo, la norma pondera un rango de aplicación por cada 100 pie de tubería y en estos tramos la longitud más larga es 1,30 m = 4,27 pie, entonces se tomó la caída de presión arrojada por el simulador por el tramo de esa misma tubería pero con mayor longitud los cuales se visualizan en figura 4.12.

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)	PRESSURE DROP (LPC)		
L014	P033	PIPE	1.80	1.80	0.00	-3.6E-4	-3.6E-4	-5.719E-3
L014	B011	BEND						
L014	P034	PIPE	1.80	1.80	0.00	-0.28	-0.28	-1.2
L014	B012	BEND						
L014	P035	PIPE	1.80	1.80	0.00	-3.6E-4	-3.6E-4	-1.297E-3
L017	P036	PIPE	1.80	1.80	0.00	-3.6E-4	-3.6E-4	-1.710E-2
L017	B013	BEND						
L017	P056	PIPE	1.80	1.80	0.00	0.26	0.26	0.6
L027	P002	PIPE	2.07	2.07	0.00	-4.6E-4	-4.6E-4	-3.029E-4
L027	V001	VALV						
L027	P003	PIPE	2.07	2.07	0.00	-4.6E-4	-4.6E-4	-6.058E-3
L027	B001	BEND						
L027	B002	BEND						
L027	P004	PIPE	2.07	2.07	0.00	-4.6E-4	-4.6E-4	-1.151E-2
L029	P005	PIPE	2.07	2.07	0.00	-4.6E-4	-4.6E-4	-2.590E-2
L029	B003	BEND						
L029	P006	PIPE	2.07	2.07	0.00	-0.18	-0.18	-0.6
L029	B004	BEND						
L058	P030	PIPE	0.90	0.90	0.00	-1.1E-4	-1.1E-4	-5.234E-4
L060	P031	PIPE	0.90	0.90	0.00	-1.1E-4	-1.1E-4	-5.210E-4

**Figura 4.10 Tramos de las líneas con elevación con mayor longitud**

Como se nota en la figura 4.10 en las líneas con elevación los tramos largos si cumple con la normativa, en consecuencia en este caso no es recomendable sustituir las líneas ya que no es económicamente rentable realizar un cambio a tuberías con distancias menores de 2 metros, a demás es importante señalar que las velocidades de mezclas (las arrojadas por el simulador) de cada una de estas líneas son menores al 60% de la velocidad de erosión.

#### 4.2.2 Simulación Hidráulica del Sistema en General desde la Descarga de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR hasta las ef o-16 y j-20



**Fig.4.11 Simulación de la descarga de las bombas**

En la figura 4.11 se observa el modelo físico de la evaluación hidráulica desde la descarga de las bombas hasta las estaciones de flujo O-16 y J-20 realizada con el software PIPEPHASE 9.1.

Para realizar esta simulación las propiedades del diluyente se visualizan en la figura 4.6 la presión de descarga de cada bomba fue de 220 lpc las cuales fueron visualizadas en campo por medio de los manómetros ubicados en cada bomba, unos caudales de 33000 Bpd para la O-16 y 38000 para la J-20, todo esto a una

temperatura ambiente de 80° F, fijando estos valores se estimo la presión de llegada a cada una de las respectivas estaciones de flujos para así saber si la energía necesaria que suministran estas bombas es la que requiere el sistemas para q este funcione eficientemente.

**Tabla 4.3 Presión de llegada a las estaciones de flujo O-16 y J-20**

Presión de llegada a la O-16 (lpc)	Presión de llegada a la J-20 (lpc)
50,41	130,8

La presión de entrada necesaria a las estaciones se estimó tomando como referencia la máxima columna del Tanque: 26 pie para la EF J-20 y 26 pie para la EF O-16, equivalente a una presión aproximada de 10 lpc. Por lo que la presión necesaria para garantizar la entrada del fluido a las EF debería estar por lo menos 2 lpc, por encima de este valor, es decir, 12 lpc, Como se observa en la tabla 4.4 las presiones de llegada a cada una de las estaciones de flujo si aporta la energía necesaria para que el fluido entre a los tanques.

Los resultados arrojados por el simulador para evaluar si las velocidades y caídas de presión cumplen con lo requerido por la norma del sistema de descarga de las bombas se muestran en la figura 4.14.

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	VELOCITY (pie/seg)	CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L005	P019	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L005	U008	VALV						
L005	B010	BEND						
L005	P020	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.24	0.24	1.2
L005	B014	BEND						
L005	P021	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.0
L005	B015	BEND						
L005	P022	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.5
L005	B016	BEND						
L007	P025	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L007	B017	BEND						
L007	B018	BEND						
L007	P026	PIPE	7.46	7.46	0.00	-0.25	-0.25	-1.3
L007	B031	BEND						
L007	B032	BEND						
L007	U010	VALV						
L007	P027	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.3
L007	U011	VALV						
L008	P035	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-0.1
L008	B027	BEND						
L008	P036	PIPE	6.00	6.00	0.00	0.37	0.37	1.9
L008	B040	BEND						
L012	P048	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-1.3
L012	B041	BEND						
L013	P028	PIPE	4.26	4.26	0.00	-2.5E-3	-2.5E-3	-3.698E-2
L013	U022	VALV						
L013	C001	CONT						
L013	P029	PIPE	6.04	6.04	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-3.737E-2
L013	B037	BEND						
L015	P053	PIPE	2.41	2.41	0.00	-9.0E-4	-9.0E-4	-8.831E-3
L016	P054	PIPE	4.87	4.87	0.00	-3.1E-3	-3.1E-3	-3.065E-2

Figura 4.12 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que no cumplieron con la norma.

En la figura 4.12 se observan señaladas las líneas que no cumplieron con la norma ya que esta pondera un rango permisible de 2-4 pie de fluido por cada 100 pie de tubería para las caídas de presión y un rango de 3 a 5 pie/seg para las velocidades, es importante acotar que todas la líneas que no cumplieron poseen elevación por lo que fue necesario restarle el diferencial de energía potencia para poder obtener su valor real.

**Tabla 4.4 Comparación de las diferentes caídas de presión obtenidas por el simulador y por la ecuación**

$\Delta p$ arrojado por el simulador (LPC)	$\Delta p$ arrojado por la ecuación de energía potencial (LPC)	$\Delta p$ final (por cada 100 pie de tubería) (LPC)
0,24	0,36	12
0,25	0,36	11
0,37	0,36	1

Luego de restarle la energía potencial a la caída de presión arrojada por el simulador a las líneas que no cumplieron con la norma se obtuvo que la línea L008 si cumplió, arrojando una caída de presión de 1 lpc por cada 100 pies de tuberías y las líneas L005 y L007 se mantuvieron fuera de la norma con un resultado de 12 y 11 lpc por cada 100 pie de tubería respectivamente, sin embargo en este caso tampoco fue necesario sustituir estos tramos de tuberías ya que la distancia máxima de estos fue de 3,28 pie y por lo expuesto en el caso anterior no es recomendable la sustitución de este pequeño tramo de tubería ya que no es económicamente rentable.



VELOCITY SUMMARY							
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	VELOCITY (pie/seg)	CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)	PRESSURE DROP (LPC)
L026	B033	BEND					
L026	P043	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-2.783E-2
L026	B034	BEND					
L026	P044	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-1.1
L026	B035	BEND					
L026	P045	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-0.5
L026	B036	BEND					
L026	P046	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.565E-3
L026	B038	BEND					
L027	P006	PUMP					
L027	P007	PIPE	3.42	3.42	0.00	-2.1E-3	-2.718E-3
L027	B003	BEND					
L027	B004	BEND					
L027	P008	PIPE	3.42	3.42	0.00	-2.1E-3	-2.718E-3
L027	V003	VALU					
L027	V004	VALU					
L028	P009	PUMP					
L028	P012	PIPE	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-3.081E-3
L028	B005	BEND					
L028	B006	BEND					
L028	P013	PIPE	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-3.081E-3
L028	V006	VALU					
L028	V007	VALU					
L029	P049	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-2.411E-2
L029	B042	BEND					
L031	P071	PIPE	2.10	2.10	0.00	-7.0E-4	-7.628E-3
L032	P031	PUMP					
L032	B020	BEND					
L032	V016	VALU					
L032	V017	VALU					
L032	P032	PIPE	2.98	2.98	0.00	-1.6E-3	-1.599E-3
L034	P077	PIPE	3.00	3.00	0.00	-3.8E-4	-11.2
L034	P002	PIPE	3.00	3.00	0.00	-8.4E-4	-35.8
L035	P103	PIPE	2.85	2.85	0.00	-1.2E-3	-3.9

Figura 4.13 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que si cumplieron con la norma.

VELOCITY SUMMARY							
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)	PRESSURE DROP (LPC)	
L048	B064	BEND					
L048	P105	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4
L048	B065	BEND					-0.1
L048	P106	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4
L048	B066	BEND					-5.383E-2
L048	P107	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4
L056	P078	PIPE	1.70	1.70	0.00	9.98E-5	9.97E-5
L059	P108	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L059	U042	VALU					-1.157E-3
L059	U043	VALU					
L059	P109	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	P110	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B067	BEND					-5.8
L061	P111	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B068	BEND					-6.556E-2
L061	P112	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	U044	VALU					-4.049E-2
L061	P113	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B069	BEND					-3.471E-2
L061	P114	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B070	BEND					-1.928E-2
L061	P115	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B071	BEND					-5.013E-2
L061	P116	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3
L061	B072	BEND					-0.2
L063	P081	PIPE	4.23	4.23	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3
L063	U033	VALU					-6.864E-2
L063	U034	VALU					
L063	U035	VALU					
L063	P082	PIPE	4.23	4.23	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3
L063	B050	BEND					-1.596E-2
L063	P083	PIPE	4.23	4.23	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3
L064	P120	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4
L064	B075	BEND					-8.074E-2
L064	P121	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4

**Figura 4.14 Velocidades y caídas de presión registrados por el simulador que si cumplieron con la norma**

En consecuencia de todo lo anteriormente demostrado el sistema de transferencia y bombeo de diluyente actual cumple con normativa, es decir que trabaja con la eficiencia deseada para que se traslade el diluyente Mesa 30 exitosamente hasta las estaciones de flujo O-16 y J-20 del área extrapesado del Distrito Morichal a sus condiciones de volumetría actual.

### **4.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE DE ACUERDO AL PLAN DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN 2010-2020 MEDIANTE EL SOFTWARE PIPEPHASE 9.1**

Luego de realizar la evaluación hidráulica a todo el sistema a condiciones actuales, se desglosó una nueva propuesta de diseño con el fin de mejorar el transporte y bombeo de diluyente de acuerdo a una serie de criterios establecidos por las normas de PDVSA y suministrando la volumetría del Portafolio De Oportunidades (PDO) 2010-2020 el cual se visualiza en el apéndice B.

Utilizando los datos de las longitudes y diámetros de las líneas desde COMOR hasta la EF O-16 y J-20 y los resultados obtenidos en las simulaciones como:

- Presión inicial y presión final de línea.
- Caídas de presión por fricción en cada línea del sistema de recolección.
- Velocidad de la mezcla.

Se realizaron cálculos en cada una de las líneas, para determinar las caídas de presión por cada 100 pies de tuberías, las velocidades de diseño y velocidades de erosión, y así verificar si las sensibilidades realizadas en los diámetros de las tuberías fueron las apropiadas para distribuir eficientemente el diluyente Mesa 30 en el área extrapesado del Distrito Morichal.

Seguidamente, se utilizaron los valores de velocidad de la mezcla (pie/seg) y densidad de la mezcla ( $\text{lb/pie}^3$ ), para obtener las velocidades de diseño y velocidades de erosión en cada línea expresada en (pie/seg), una vez obtenidos estos resultados se

compararon para determinar si satisfacían la condición establecida en la norma PDVSA N° L-TP 1.5.

Al obtener los valores de los parámetros establecidos por la empresa PDVSA para el diseño de redes de tuberías como: caídas de presión por cada 100 pie de tubería, velocidades de erosión, de diseño y de la mezcla, se procedió a evaluar la nueva propuesta, para determinar si cumplía con los criterios recomendados por la norma PDVSA N° L-TP 1.5 Cálculo Hidráulico de Tuberías.

#### **4.3.1 Simulación Hidráulica del Sistema hasta la Succión de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR Aumentando el Diámetro en las Líneas de Transferencia y Bombeo de Diluyente**

Para realizar la evaluación hidráulica al sistema hasta la succión de las bombas utilizando la volumetría propuesta por el PDO 2010-2020 se realizaron sensibilidades a los diámetros de las líneas donde se obtuvo problemas al suministrarle la nueva volumetría manteniendo los diámetros actuales.

**Tabla 4.5 Volumetrías para cada estación de flujo**

	<b>Volumetría actual (BPD)</b>	<b>Nueva Volumetría (BPD)</b>
<b>0-16</b>	33000	49960
<b>J-20</b>	38000	87560

Para evaluar si dicho proceso funcionaría con la nueva volumetría se le suministró la misma al sistema actual, lo que arrojó como resultado que las caídas de presión y velocidades no cumplieron con la norma en las líneas que se visualiza en la figura 4.17, en consecuencia se realizó una variación de diámetros a estas líneas por

otro mayor para verificar si con esta sensibilidad el sistema si operaría con total eficiencia con este aumento de volumetría que es lo que se espera con esta evaluación

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)		CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L005	P019	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.0
L005	V008	VALV						
L005	B010	BEND						
L005	P020	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.24	0.24	1.2
L005	B014	BEND						
L005	P021	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.24	0.24	1.2
L005	B015	BEND						
L005	P022	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.24	0.24	1.2
L005	B016	BEND						
L004	P025	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L004	B017	BEND						
L004	B018	BEND						
L004	P026	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.25	0.25	-1.3
L004	B031	BEND						
L004	B032	BEND						
L004	V010	VALV						
L004	P027	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.25	0.25	-1.3
L004	V011	VALV						
L008	P035	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-0.1
L008	B027	BEND						
L008	P036	PIPE	6.00	6.00	0.00	0.27	0.27	1.9
L008	B040	BEND						
L001	P033	PIPE	2.72	2.72	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-1.196E-2
L001	B011	BEND						
L001	P034	PIPE	2.72	2.72	0.00	0.28	0.28	-1.2
L001	B012	BEND						
L001	P035	PIPE	2.72	2.72	0.00	0.28	0.28	-1.2
L009	P005	PIPE	4.77	4.76	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-0.1
L009	B003	BEND						
L009	P006	PIPE	4.76	4.76	0.00	0.18	0.18	-0.6
L009	B004	BEND						

Figura 4.15 Líneas que no cumplen con la normativa al suministrar la nueva volumetría del PDO

En la figura 4.15 se puede observar los resultados de las velocidades y caídas de presión arrojados por el simulador donde se concluyo que las líneas señaladas debieron ser sustituidas por otras de mayor diámetro ya que ellas representan un área restrictotas de caudal (cuello de botella) y no cumplen con los requerimientos de la normativa de lo que puede traer como consecuencia problemas operacionales en el sistema de transferencia y bombeo de diluente.

**Tabla 4.6 Líneas que se le sustituyeron el diámetro por uno mayor**

Diametro (pulgadas)	L001	L004	L005	L008	L009
Diametro actual	6	6	6	6	6
Diametro sugerido	12	12	12	12	12

En la tabla 4.6 se observan las líneas que fueron sustituidas están ubicadas justamente en la succión de cada una de las bombas lo que índica que se deben sustituir por otras de mayor diámetro para que el sistema cumpla con la normativa.

Al realizar estos cambios a las líneas de succión de las bombas se obtuvieron resultados satisfactorios, es decir, las velocidades y caídas de presión cumplieron con la normativa ya que el aumento del diámetro fue el doble del actual debido al considerable aumento de la volumetría, y los resultados arrojados por el simulador se muestran a continuación en la figura 4.18:

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)		CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L005	P019	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.0
L005	U008	VALU	2.80	2.80				
L005	B010	BEND						
L005	P020	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	1.2
L005	B014	BEND						
L005	P021	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	1.2
L005	B015	BEND						
L005	P022	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	1.2
L005	B016	BEND						
L004	P025	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L004	B017	BEND						
L004	B018	BEND	2.80	2.80				
L004	P026	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.3
L004	B031	BEND						
L004	B032	BEND						
L004	U010	VALU	2.80	2.80				
L004	P027	PIPE	2.80	2.80	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.3
L004	U011	VALU						
L008	P035	PIPE	2.02	2.02	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-0.1
L008	B027	BEND						
L008	P036	PIPE	2.02	2.02	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	1.9
L008	B040	BEND						
L001	P033	PIPE	1.70	1.70	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-1.196E-2
L001	B011	BEND						
L001	P034	PIPE	1.70	1.70	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-1.2
L001	B012	BEND						
L001	P035	PIPE	1.70	1.70	0.00	-7.5E-4	-7.5E-4	-1.2
L009	P005	PIPE	2.72	2.72	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-0.1
L009	B003	BEND						
L009	P006	PIPE	2.72	2.72	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-0.6
L009	B004	BEND						

**Figura 4.16 Resultados arrojados por el simulador luego de aumentar el diámetro de las líneas restrictotas de caudal**

El sistema de transferencia hasta la succión de las bombas tiene la misma filosofía de operación que el sistema actual solo que cambian las líneas de succión de cada paquete de bomba por unas de mayor diámetro, en consecuencia las líneas que eran de 6 pulg de diámetro cambiaron por líneas de 12 pulg la cual facilitarán el manejo de una volumetría mucho mayor para las estaciones de flujo del área extra pesado del Distrito Morichal.



**Tabla 4.7 Presión de succión y caudales por cada bomba**

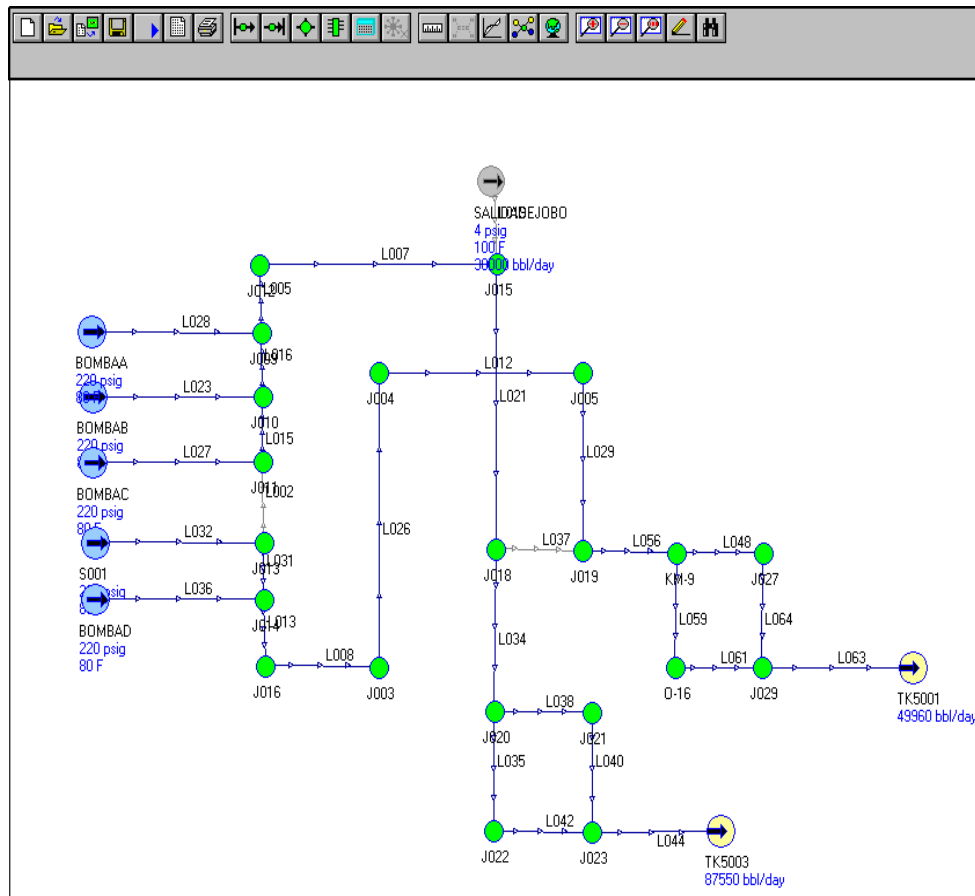
<b>Presión de succión de cada bomba.</b>	<b>P (LPC)</b>
Bomba P003-A	2.61
Bomba P003-B	2.59
Bomba P003-C	2.6
Bomba P003-D	3.029
Bomba P003-E	3.048
<b>Caudal de succión de cada bomba.</b>	<b>Q (BPD)</b>
Bomba P003-A	30405
Bomba P003-B	28809
Bomba P003-C	28336
Bomba P003-D	24701
Bomba P003-E	25259

En la tabla 4.7 se observan los caudales y presión de succión arrojada por el simulador perteneciente a cada bomba utilizando la nueva volumetría.

#### **4.3.2 Simulación Hidráulica del Sistema en General desde la Descarga de las Bombas (p003-a/b/c/d/e) Ubicadas en COMOR hasta las ef o-16 y j-20, Aumentando el Diámetro en las Líneas de Transferencia y Bombeo de Diluyente**

Para realizar esta simulación las propiedades del diluyente se visualizan en la figura 4.6 la presión de descarga de cada bomba fue de 220 lpc las cuales fueron visualizadas en campo por medio de los manómetros ubicados en cada bomba, unos caudales de 49960 Bpd para la O-16 y 87560 para la J-20, todo esto a una temperatura ambiente de 80° F, fijando estos valores se estimo la presión de llegada a cada una de las respectivas estaciones de flujos para así saber si la energía necesaria que suministran estas bombas es la que requiere el sistemas para q este funcione

eficientemente, también se determinó las velocidades y caídas de presión para verificar si con la nueva propuesta el sistema cumple con la normativa.



**Figura 4.17 Simulación hidráulica desde la descarga de las bombas hasta las estaciones de flujo**

En la figura 4.17 se observa la evaluación hidráulica del sistema desde la descarga de las bombas hasta las estaciones de flujo determinada por el software pipephase 9.1 donde primeramente se obtuvo como resultado la presión de llegada a las estaciones de flujo, esto con el fin de verificar si el sistema proporciona la energía necesaria para que este opere eficientemente.

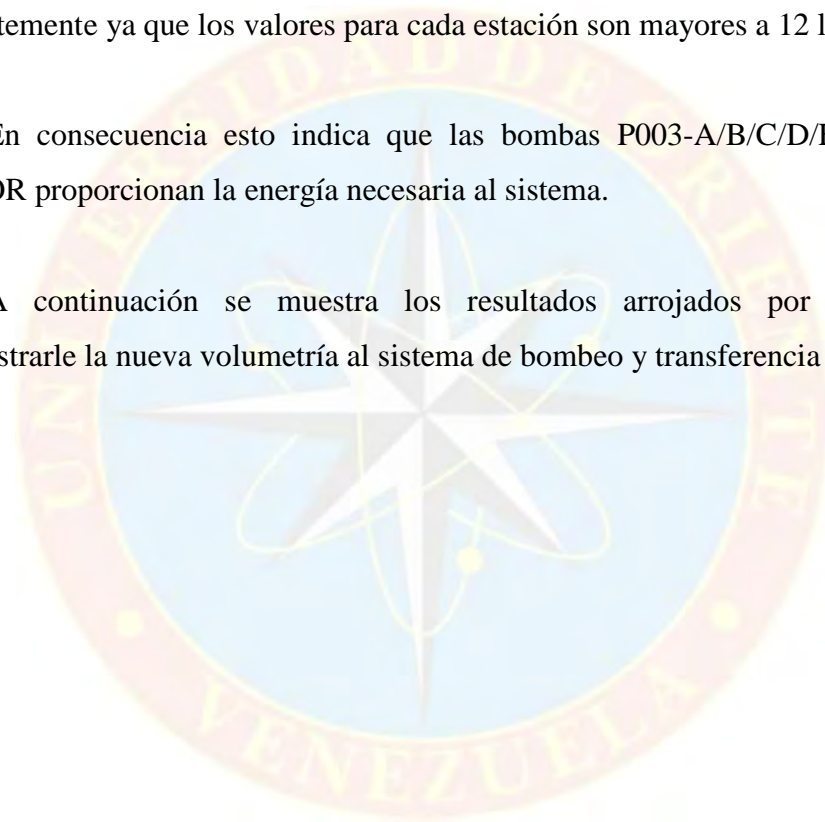
**Tabla 4.8 Presiones de llegada a cada estación de flujo**

Presión de llegada a la EF 0-16 (LPC)	Presión de llegada a la EF J-20 (LPC)
210,4	139,2

En la tabla 4.8 se puede observar las presiones de llegada a cada estación de flujo lo que indica que al sistema si se le aporta la energía necesaria para que opere eficientemente ya que los valores para cada estación son mayores a 12 lpc.

En consecuencia esto indica que las bombas P003-A/B/C/D/E ubicadas en COMOR proporcionan la energía necesaria al sistema.

A continuación se muestra los resultados arrojados por simulador al suministrarle la nueva volumetría al sistema de bombeo y transferencia actual:



VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)		CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L005	P019	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L005	U008	VALV						
L005	B010	BEND						
L005	P020	PIPE	7.46	7.46	0.00	0.24	0.24	1.2
L005	B014	BEND						
L005	P021	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.0
L005	B015	BEND						
L005	P022	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.5
L005	B016	BEND						
L007	P025	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.1
L007	B017	BEND						
L007	B018	BEND						
L007	P026	PIPE	7.46	7.46	0.00	-0.25	-0.25	-1.3
L007	B031	BEND						
L007	B032	BEND						
L007	U010	VALV						
L007	P027	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-1.3
L007	U011	VALV						
L008	P035	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-0.1
L008	B027	BEND						
L008	P036	PIPE	6.00	6.00	0.00	0.37	0.37	1.9
L008	B040	BEND						
L012	P048	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-1.3
L012	B041	BEND						
L013	P028	PIPE	4.26	4.26	0.00	-2.5E-3	-2.5E-3	-3.698E-2
L013	U022	VALV						
L013	C001	CONT						
L013	P029	PIPE	6.04	6.04	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-3.737E-2
L013	B037	BEND						
L015	P053	PIPE	2.41	2.41	0.00	-9.0E-4	-9.0E-4	-8.831E-3
L016	P054	PIPE	4.87	4.87	0.00	-3.1E-3	-3.1E-3	-3.065E-2
L021	P075	PIPE	10.59	10.59	0.00	-0.02	-0.02	-0.1
L023	P003	PUMP						
L023	P004	PIPE	3.48	3.48	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.799E-3
L042	P090	PIPE	11.04	11.04	0.00	-0.03	-0.03	-4.9
L042	B053	BEND						
L042	P091	PIPE	11.04	11.04	0.00	-0.03	-0.03	-4.8
L042	B054	BEND						
L042	U038	VALV						
L044	P079	PIPE	7.46	7.46	0.00	-6.7E-3	-6.7E-3	-0.2
L038	U039	VALV						
L038	P092	PIPE	4.61	4.61	0.00	-2.8E-3	-2.8E-3	-4.634E-3
L038	B055	BEND						
L038	P093	PIPE	4.61	4.61	0.00	-2.8E-3	-2.8E-3	-2.039E-2
L038	B056	BEND						
L038	P094	PIPE	4.61	4.61	0.00	-2.8E-3	-2.8E-3	-2.178E-2
L038	B057	BEND						
L038	P095	PIPE	4.61	4.61	0.00	0.37	0.37	1.2
L038	B058	BEND						
L038	P096	PIPE	4.61	4.61	0.00	-2.8E-3	-2.8E-3	-23.2
L029	P049	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-2.411E-2
L029	B042	BEND						
L026	P043	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-2.783E-2
L026	B034	BEND						
L026	P044	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-1.1
L026	B035	BEND						
L026	P045	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-0.5
L026	B036	BEND						
L026	P046	PIPE	6.00	6.00	0.00	-5.7E-3	-5.7E-3	-5.565E-3
L026	B038	BEND						

Figura 4.18 Resultados arrojados por el simulador a la descarga de las bombas

En la figura 4.18 se muestran las líneas que no cumplen con las velocidades y caídas de presión permisibles por la norma, lo que trae como conclusión que al suministrar la nueva volumetría al sistema actual la cual es mucho mayor hace que el sistema no trabaje eficientemente porque los diámetros de las líneas señaladas son muy pequeños para que se transporte esa cantidad de caudal.

**Tabla 4.9 Líneas que se le sustituyeron el diámetro por uno mayor**

Diametro (Pulg)	L005	L007	L008	L021	L026	L029	L038	L042	L044
Diametro actual (Pulg)	4	4	4	6	6	10	12	6	6
Diametro sugerido (Pulg)	10	10	10	10	10	20	20	10	10

En la tabla 4.9 se visualiza las líneas que deben ser sustituidas en el sistema por unas de mayor diámetro ya que al realizar la evaluación hidráulica estas no cumplieron con las especificaciones de la norma, también se muestra los diámetros originales de las líneas y el diámetro propuesto para realizar la sustitución.

Es importante señalar que las líneas que presentaron área restrictotas de caudal son las que corresponden a las líneas de descarga de cada bomba donde las L005, L007 y L008 corresponden al paquete de bomba P003-A/B/C las cuales son originalmente de 4 pulg de diámetro, también están las L021 y L026 que pertenecen a las líneas de descarga del paquete de bomba P003- D/E las cuales son originalmente de 6 pulg de diámetro, también están las líneas L029 y L038 las cuales pertenecen a las líneas de 12 y 10 pulg que parten desde COMOR hasta los kilómetros 0 y 9 respectivamente y por último las líneas L042 y L044 que son de 6 pulg cada una que entran a las estaciones de flujo O-16 y J-20.

En la figura 4.22 se muestra que al realizar los cambios de diámetros señalados en la tabla 4.10 se obtuvo como resultado que las velocidades y caídas de presión del sistema si cumplieron con la normativa, lo que deja como conclusión que estos

cambios fueron los correctos para que el sistema de bombeo y transferencia de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20 trabaje con total eficiencia.

VELOCITY SUMMARY								
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)		CRITICAL VELOCITY (pie/seg)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (LPC)		PRESSURE DROP (LPC)
L005	P019	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4	-0.1
L005	U008	VALU						
L005	B010	BEND	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4	-5.383E-2
L005	P020	PIPE						
L005	B014	BEND	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4	-4.0
L005	P021	PIPE	1.70	1.70	0.00	9.98E-5	9.97E-5	2.9
L005	B015	BEND	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-1.157E-3
L005	P022	PIPE						
L005	B016	BEND						
L007	P025	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-5.8
L007	B017	BEND	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-0.1
L007	B018	BEND						
L007	P026	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-6.556E-2
L007	B031	BEND						
L007	B032	BEND	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-4.049E-2
L007	U010	VALU						
L007	P027	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-3.471E-2
L007	U011	VALU						
L008	P035	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-1.928E-2
L008	B027	BEND						
L008	P036	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-5.013E-2
L008	B040	BEND						
L012	P048	PIPE	2.80	2.80	0.00	-1.2E-3	-1.2E-3	-0.2
L012	B041	BEND						
L013	P028	PIPE	1.70	1.70	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3	-6.864E-2
L013	U022	VALU						
L013	C001	CONT						
L013	P029	PIPE						
L013	B037	BEND	1.70	1.70	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3	-1.596E-2
L015	P053	PIPE						
L016	P054	PIPE	1.70	1.70	0.00	-2.4E-3	-2.4E-3	-2.395E-3
L021	P075	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4	-8.074E-2
L023	P003	PUMP						
L023	P004	PIPE	2.02	2.02	0.00	-8.2E-4	-8.2E-4	-4.575E-2
L042	P090	PIPE	3.42	3.42	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.718E-3
L042	B053	BEND						
L042	P091	PIPE						
L042	B054	BEND	3.42	3.42	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.718E-3
L042	U038	VALU						
L044	P079	PIPE						
L038	U039	VALU						
L038	P092	PIPE	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-2.3E-3	-3.081E-3
L038	B055	BEND						
L038	P093	PIPE						
L038	B056	BEND	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-2.3E-3	-3.081E-3
L038	P094	PIPE						
L038	B057	BEND						
L038	P095	PIPE	2.98	2.98	0.00	-1.6E-3	-1.6E-3	-1.599E-3
L038	B058	BEND						
L038	P096	PIPE	3.00	3.00	0.00	-3.8E-4	-3.8E-4	-11.2
L029	P049	PIPE	3.00	3.00	0.00	-8.4E-4	-8.4E-4	-35.8
L029	B042	BEND						
L026	P043	PIPE	2.98	2.98	0.00	-1.6E-3	-1.6E-3	-1.599E-3
L026	B034	BEND						
L026	P044	PIPE	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-2.3E-3	-3.081E-3
L026	B035	BEND						
L026	P045	PIPE						
L026	B036	BEND	3.67	3.67	0.00	-2.3E-3	-2.3E-3	-3.081E-3
L026	P046	PIPE	3.42	3.42	0.00	-2.1E-3	-2.1E-3	-2.718E-3
L026	B038	BEND						

Figura 4.19 Resultados arrojados por el simulador a la descarga de las bombas

#### **4.4 EVALUACIÓN DE LAS BOMBAS EXISTENTES PARA VERIFICAR SI ESTAS OPERARÁN CON LA NUEVA VOLUMETRÍA A MANEJAR**

Al obtener los resultados de las simulaciones del sistema completo se procedió a evaluar las bombas P003-A/B/C/D/E usando como data la del nuevo plan de exploración y producción, mediante ecuaciones ya establecidas para la evaluación de las mismas, esto con el objetivo de saber si las bombas existentes trabajarán con total eficiencia suministrándole la nueva volumetría.

Estas evaluaciones se llevaron a cabo por medio de una hoja de datos de Excel suministrándole ecuaciones establecidas por las normas PDVSA MDP-02-P-06 Cálculo de servicio de bombeo y PDVSA MDP-02-P-04 cálculo de NPSH.

##### **4.4.1 Evaluación de las Bombas p003 a/b/c/d/e Ubicadas en COMOR**

Las características de las cinco bombas ubicadas en COMOR P003- A/B/C/D/E son exactamente las mismas, a diferencia que el paquete de bombas P003 A/B/C las cuales bombean diluyente para la estación de flujo O-16 trabajan con una volumetría de 49960 BPD y el paquete de bombas P003 D/E las cuales bombean diluyente para la EF J-20 trabajan con una volumetría de 89960 BPD.

Estas bombas son utilizadas para bombear a una presión de 220 lpc diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20 trayecto el cual está comprendido por 30 km de tuberías.



**Tabla 4.10 Especificaciones de las bombas P003 A/B/C/D/E**

<b>Nombre de las bombas</b>	<b>P003 A/B/C/D/E</b>
<b>Tipo de bombas</b>	<b>Centrifugas multi etapas</b>
<b>Identificación</b>	<b>Me8.5zk50</b>
<b>Fluido a bombear</b>	<b>Diluyente</b>
<b>°API</b>	<b>31</b>
<b>Temp Máxima</b>	<b>90°F</b>
<b>Temp Normal</b>	<b>90°F</b>
<b>Temp Mínima</b>	<b>90°F</b>
<b>Caudal de flujo maximo esperado</b>	<b>49960 BPD y 87550 BPD</b>
<b>Caudal de flujo nominal</b>	<b>270 GPM</b>
<b>Presión de succión máxima</b>	<b>9,88</b>
<b>Presión de succión mínima</b>	<b>1,61 LPC</b>
<b>NPSH disponible</b>	<b>37,40 LPC</b>
<b>Factor de seguridad</b>	<b>1,1</b>
<b>Temperatura ambiente</b>	<b>90°F</b>
<b>Densidad</b>	<b>53,82 lb/pie</b>
<b>Gravedad especifica @ 32°F</b>	<b>138,45 pie</b>
<b>Presión de vapor @ 32°F</b>	<b>6</b>
<b>Viscosidad @ 30°F</b>	<b>10 cps</b>
<b>Viscosidad @ 40°F</b>	<b>6 cps</b>
<b>NPSH especificado</b>	<b>34 pie</b>
<b>Presión de descarga requerida</b>	<b>76,7 lpc</b>
<b>Presión de descarga maxima</b>	<b>97,04 lpc</b>
<b>Requerimiento de cabezal</b>	<b>138,45 pie</b>
<b>Potencia hidráulica</b>	<b>9,51 hp</b>
<b>Potencia al freno bomba electrica</b>	<b>12,68 hp</b>
<b>Potencia del motor eléctrico</b>	<b>13,71 hp</b>

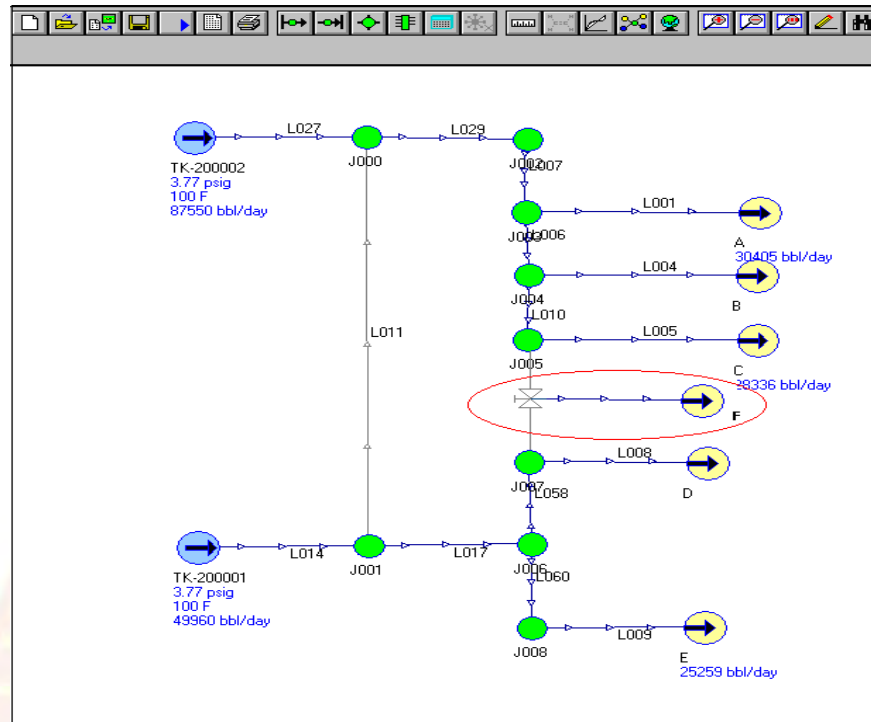
En la tabla 4.11 se muestran los datos suministrados y obtenidos para realizar la evaluación a las bombas P003 A/B/C/D/E, donde la demostración de cada uno de los resultados se visualiza en el apéndice D.

Para realizar esta evaluación se hizo una simulación hidráulica al sistemas desde la salida de los tanques 20001 y 20002 (línea de 16 pulg e interconexiones) hasta la succión de las bombas para verificar que las bombas existentes en COMOR si cumplen con los requerimientos de la norma.

VELOCITY SUMMARY				
LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (pie/seg)	
L005	P019	PIPE	7.46	7.46
L005	U008	VALU		
L005	B010	BEND		
L005	P020	PIPE	7.46	7.46
L005	B014	BEND		
L005	P021	PIPE	7.46	7.46
L005	B015	BEND		
L005	P022	PIPE	7.46	7.46
L005	B016	BEND		
L004	P025	PIPE	7.46	7.46
L004	B017	BEND		
L004	B018	BEND		
L004	P026	PIPE	7.46	7.46
L004	B031	BEND		
L004	B032	BEND		
L004	U010	VALU		
L004	P027	PIPE	7.46	7.46
L004	U011	VALU		
L008	P035	PIPE	6.00	6.00
L008	B027	BEND		
L008	P036	PIPE	6.00	6.00
L008	B040	BEND		
L001	P033	PIPE	2.72	2.72
L001	B011	BEND		
L001	P034	PIPE	2.72	2.72
L001	B012	BEND		
L001	P035	PIPE	2.72	2.72
L009	P005	PIPE	4.77	4.76
L009	B003	BEND		
L009	P006	PIPE	4.76	4.76
L009	B004	BEND		

**Figura 4.20 Velocidades arrojadas por el simulador hasta la succión de las bombas**

En la figura 4.20 se observa las velocidades arrojadas por el simulador hasta la succión de las bombas donde se concluyo que las velocidades del sistema si cumplen con los requerimientos ya que al compararlas se observa que estas son menores al 62,5% de la velocidad de erosión, es decir, todas las velocidades resaltadas son menores a 13.625 pie/seg.



**Figura 4.21 Nueva propuesta de diseño hasta la succión de las bombas**

En esta propuesta se sugirió implantar una línea que conecte los paquetes de bombas aprovechando las facilidades de superficie presentes en el área, esto con el fin de colocar una nueva bomba (P003-F) de respaldo que tendrá como objetivo bombear a la estación de flujo que sea necesario ya que contará con los accesorios requeridos para que se pueda realizar variaciones en el proceso, las especificaciones de esta bomba será la misma que las ya instaladas.

También se realizó el cálculo del  $NPSH_D$  y  $NPSH_R$  del sistema de alimentación donde compararon y se concluyó que las bombas si cumplen con lo requerido por la norma ya que el  $NPSH_R$  0-16 fue de 25,53 pie <  $NPSH_D$  0-16 el cual fue de 28,08 pie y para la J-20 el  $NPSH_R$  fue de 26,5 pie <  $NPSH_D$  el cual fue de 29,15, lo que arroja como resultado que las bombas pueden operar eficientemente con la nueva volumetría. (Ver apéndice D)

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Las caídas de presión en las secciones de tuberías de succión y descargas a las bombas de diluyente aplicando la volumetría actual cumplen con lo establecido en las Norma PDVSA-90616.1.024: Dimensionamiento de Tuberías de Proceso.
- Las caídas de presión en las secciones de tuberías de succión y descargas a las bombas de diluyente aplicando la nueva volumetría y cambios de diámetros a las líneas con área restrictotas de caudal cumplen con lo establecido en las Norma PDVSA-90616.1.024: Dimensionamiento de Tuberías de Proceso.
- Las velocidades en la línea principal del sistema de succión de las bombas a las condiciones actuales tanto para la O-16 como para la J-20, se encuentran dentro de las velocidades recomendadas en la Norma PDVSA 90616.1.024: Dimensionamiento de Tuberías de Proceso, por lo que no exceden la velocidad de erosión.
- Para la filosofía de operación, se contará inicialmente con dos sistemas de bombeo paralelo con capacidad de 80 MBD (2 Bombas de 40 MBD), con una (1) bomba de 40 MBD de respaldo.
- Este sistema tendrá la flexibilidad de bombeo independiente por la línea de 12 pulg y 10 pulg para las EF J-20 y O-16 respectivamente y facilidades de interconexión en la descarga para la línea de 20 pulg del nuevo diluenducto.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se deberá construir un nuevo diluenducto de 20 pulg de diámetro desde COMOR hasta el km 9 y km 0 (tomando como referencia el oleoducto que transporta la producción de la Faja).
- Se recomienda aumentar el diámetro de las líneas de succión y descarga de las bombas, esto con el fin de que el sistema opere eficientemente con la nueva volumetría.
- Se recomienda no trabajar las bombas P-003 actuales con un nivel por debajo de 9 pie (nivel por encima de la succión del Tanque), de manera especial si se colocarán filtros en la succión, los cuales normalmente aportan 2 lpc de caída de presión al sistema.
- Se recomienda instalar una nueva bomba P003-F que se utilizará como bomba de respaldo, esto con el fin de aprovechar las facilidades de superficie presentes.
- La bomba P-003 a instalar deberá estar diseñada bajo las siguientes condiciones hidráulicas en la succión, un nivel mínimo de 8 pie en los Tanques 20001 y 20002 (nivel por encima de la succión del Tanque), con una presión de descarga de 220 lpc.

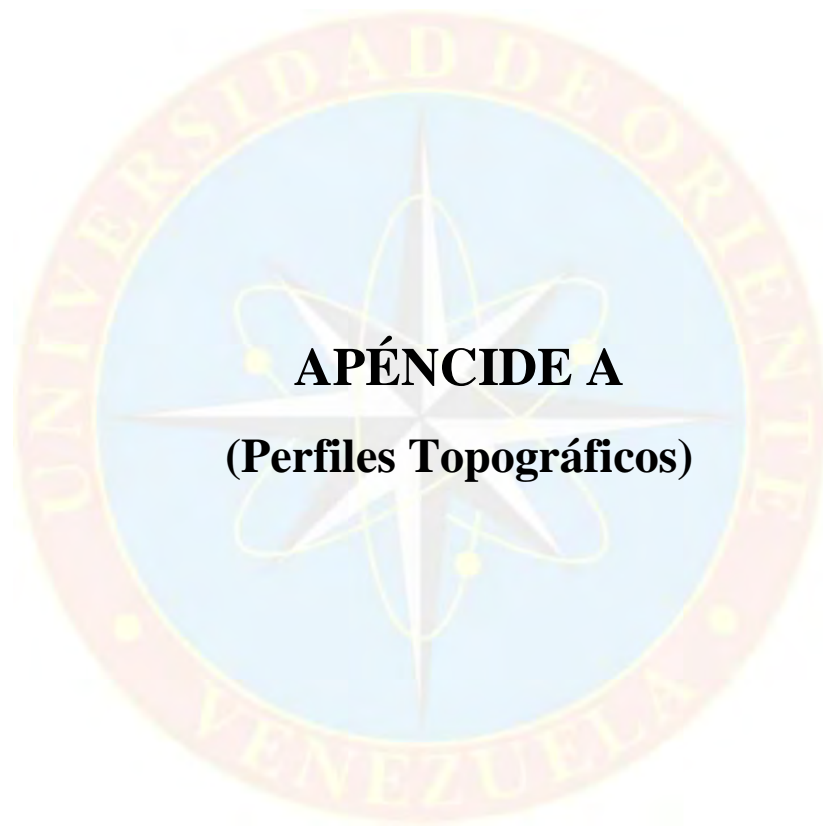
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRANE (1992) **“FLUJO DE FLUIDOS EN VÁLVULAS ACCESORIOS Y TUBERÍAS”**  
[DOCUMENTO EN DISQUETE]. DISPONIBLE EN: EDITORIAL MCGRAW-HILL
- GONZÁLEZ, J. (2006) **“SIMULACIÓN DE REDES DE TUBERÍAS DE PETRÓLEO BAJO UN ESQUEMA MONOFÁSICO Y MULTIFÁSICO”** INVERSIONES FIGHERCAS, C.A. CARACAS, VENEZUELA
- LEIBA, D. (2007) **“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE DILUENTE PARA POZOS PRODUCTORES DE CRUDO PESADO DEL CAMPO LIMÓN, U.P”**
- NORMAS TÉCNICAS DE PDVSA. (1996) **“MANUAL DE DISEÑO DE PROCESOS. FLUJO DE FLUIDOS”**
- PDVSA (2009) **“ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PARA EXPLOTAR LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**
- RAMÍREZ, T (1996) **“CÓMO HACER UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”**
- RIVAS, A. (2006) **“EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA O RED DE RECOLECCIÓN DE CRUDO DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN PESADO”**



# **APÉNDICES**

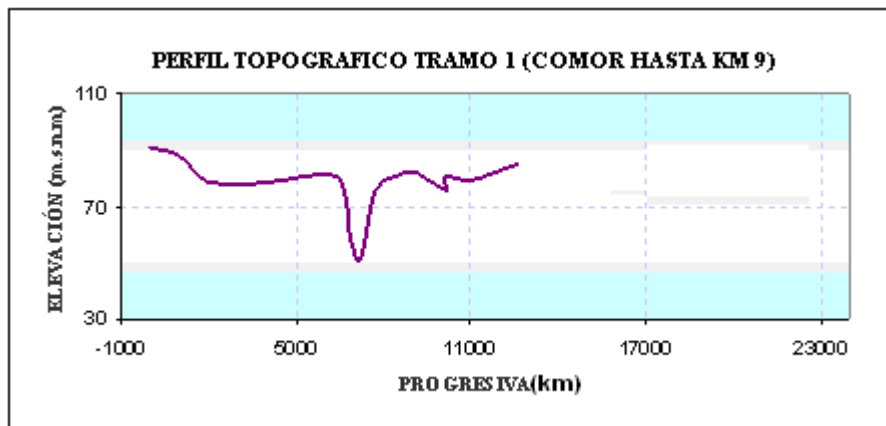




**APÉNCIDE A**  
**(Perfiles Topográficos)**

**Tabla A.1. Perfil de elevaciones del tramo 1**

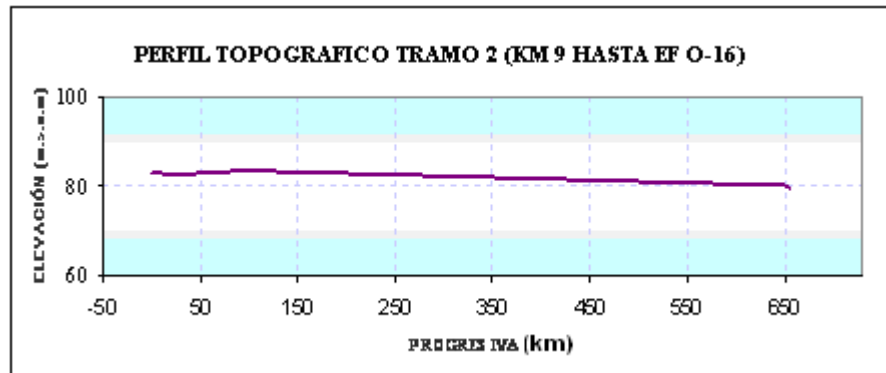
PUNTOS (VÉRTICES)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	DISTANCIA ENTRE PUNTOS (km)	PROGRESIVA (km)	CAMBIO DE ELEVACIÓN
1	91,048	0	0	-
2	88,195	1,0136	1,0136	2,853
3	79,042	0,98112	1,9947	9,153
4	78,769	2,0885	4,0766	0,273
5	81,368	2,0970	6,17369	-2,599
6	74,614	0,4613	6,6350	6,754
7	60,137	0,23579	6,8708	14,477
8	51,705	0,32448	7,1957	8,432
9	76,185	0,56434	7,7601	-24,480
10	82,085	1,2933	9,0534	-5,900
11	75,427	1,06184	10,1153	6,658
12	80,439	0,02062	10,1359	-5,012
13	79,689	0,9093	11,0452	0,75



**Gráfica A.1 Perfil topográfico del tramo 1**

**Tabla A.2. Perfil de elevaciones del tramo 2**

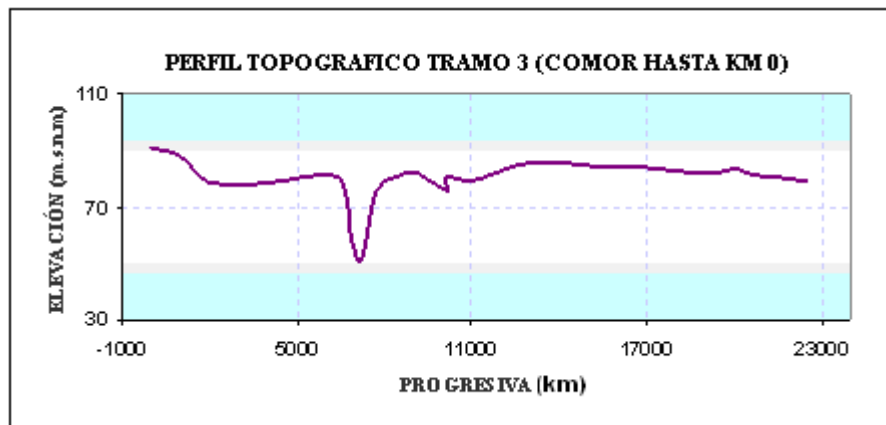
PUNTOS (VÉRTICES)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	DISTANCIA ENTRE PUNTOS (km)	PROGRESIVA (km)	CAMBIO DE ELEVACIÓN
1	83,025	0	0	-
2	82,719	0,2485	0,2485	0,306
3	83,504	0,7172	0,9658	-0,785
4	80,408	0,5711	0,6137	3,096
5	80,582	0,34342	0,64809	-0,174
6	79,608	0,0717	0,65526	0,974



**Gráfica A.2 Perfil topográfico del tramo 2**

**Tabla A.3. Perfil de elevaciones del tramo 3**

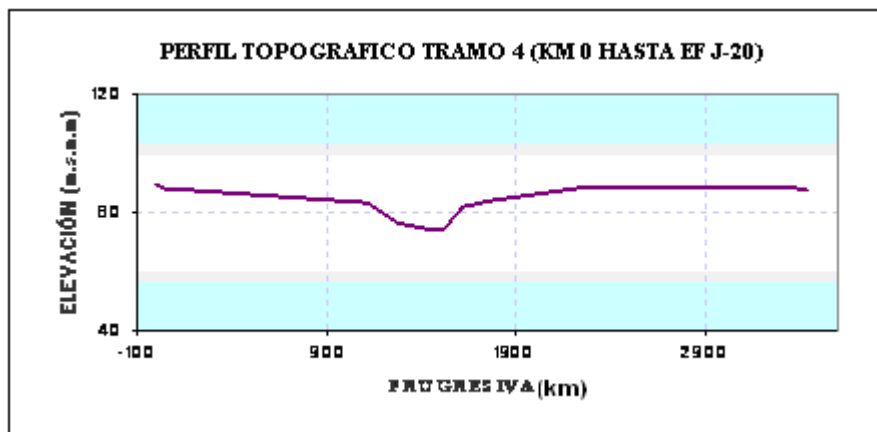
PUNTOS (VÉRTICES)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	DISTANCIA ENTRE PUNTOS (km)	PROGRESIVA (km)	CAMBIO DE ELEVACIÓN
1	91,048	0	0	-
2	88,195	1,01363	1,0136	2,853
3	79,042	0,9811	1,9947	9,153
4	78,769	2,0818	4,0766	0,273
5	81,368	2,0970	6,1736	-2,599
6	74,614	0,4613	6,6350	6,754
7	60,137	0,2357	6,8708	14,477
8	51,705	0,3249	7,1957	8,432
9	76,185	0,5643	7,7601	-24,480
10	82,085	1,2933	9,0534	-5,900
11	75,427	1,0618	10,1153	6,658
12	80,439	0,02062	10,1359	-5,012
13	79,689	0,90936	11,0452	0,75
14	86,151	1,9958	13,0411	-6,462
15	84,464	1,9989	15,402	1,687
16	83,771	2,0047	17,044	0,693
17	81,917	2	19,045	1,854
18	83,339	0,9913	20,0370	-1,422
19	81,807	0,4061	20,4431	1,532
20	79,998	1,3607	21,8033	1,809
21	79,382	0,7453	22,5487	0,616



**Gráfica A3 Perfil topográfico del tramo 3**

**Tabla A.4. Perfil de elevaciones del tramo 4**

PUNTOS (VÉRTICES)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	DISTANCIA ENTRE PUNTOS (km)	PROGRESIVA (km)	CAMBIO DE ELEVACIÓN
1	89,822	0	0	-
2	88,273	0,0393	0,0393	1,549
3	83,363	1,0761	1,1154	4,91
4	76,776	0,1593	1,2747	6,587
5	74,051	0,1673	1,4420	2,725
6	74,621	0,077	1,5193	-0,570
7	82,220	0,1023	1,6195	-7,599
8	83,978	0,1528	1,7723	-1,758
9	88,459	0,4532	2,225	-4,481
10	88,697	1,1495	3,3751	-0,238
11	88,547	0,0110	3,3862	0,150
12	87,840	0,097	3,3960	0,707
13	87,731	0,038	3,3998	0,109
14	87,734	0,0234	3,4232	-0,003
15	87,615	0,0971	3,4330	0,119



**Gráfica A 4 Perfil topográfico del tramo 4**



**APÉNDICE B**  
**(Portafolio de Oportunidades)**

**Tabla B.1 Portafolio de oportunidades 2010-2020**

PREMISAS		2010-2020									
%API CRUDO	8	%API DILUENTE	27	%API DILUENTE	27	%API MEZCLA	16	RELACION			
GRAVEDAD DEL CRUDO	1,01	GRAVEDAD DILUENTE	0,89	GRAVEDAD DILUENTE	0,89	GRAVEDAD MEZCLA	0,96	1,83			
<b>PERFILES. ESTACIÓN O-16</b>											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL CRUDO, MBN	49,71	46,20	48,14	55,65	57,03	55,06	53,92	49,59	51,89	55,51	60,47
TOTAL DILUENTE, MBN	41,07	38,17	39,78	45,98	47,12	45,50	44,56	40,98	42,88	45,87	49,96
TOTAL CRUDO DILUIDO	32,51	34,12	35,6	37,2	38,86	40,1	42,38	43,89	45,93	47,12	48,73
TOTAL AGUA, MB	10,18	10,14	11,29	13,05	14,26	14,64	14,33	13,99	14,64	15,66	18,06
% AGUA EN EL CF	17%	18%	19%	19%	20%	21%	21%	22%	22%	22%	23%
Barriles Bruto Agua	59,89	56,34	59,43	68,70	71,28	69,70	68,26	63,58	66,53	71,16	78,53
TOTAL FLUIDO, MBD	100,96	94,51	99,21	114,68	118,40	115,20	112,81	104,56	109,41	117,03	128,49
RGP, PCBLS	427,00	433,00	440,00	447,00	454,00	461,00	468,00	476,00	483,00	491,00	498,00
TOTAL GAS, MMPCND	21,22	20,00	21,18	24,87	25,89	25,38	25,24	23,61	25,07	27,25	30,11
<b>PERFILES. ESTACIÓN J-20</b>											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL CRUDO, MBN	71,18	85,16	82,55	80,02	80,39	83,02	85,02	96,81	106,10	110,13	105,95
TOTAL DILUENTE, MBN	58,82	70,37	68,21	66,13	66,43	68,60	70,25	79,99	87,67	91,01	87,55
TOTAL CRUDO DILUIDO	37,84	42,26	48,21	51,33	55,84	58,32	63,11	68,95	78,26	82,68	86,52
TOTAL AGUA, MB	14,58	18,69	19,36	18,77	20,10	22,07	22,60	27,30	29,92	31,06	31,65
% AGUA EN EL CF	17%	18%	19%	19%	20%	21%	21%	22%	22%	22%	23%
Barriles Bruto Agua	85,76	103,86	101,92	98,80	100,49	105,09	107,62	124,11	136,02	141,20	137,60
TOTAL FLUIDO, MBD	144,59	174,23	170,13	164,92	166,93	173,69	177,87	204,10	223,69	232,20	225,16
RGP, PCBLS	427,00	433,00	440,00	447,00	454,00	461,00	468,00	476,00	483,00	491,00	498,00
TOTAL GAS, MMPCND	30,40	36,88	36,32	35,77	36,50	38,27	39,79	46,08	51,24	54,08	52,77
<b>PERFILES. CAMPO CERRO NEGRO</b>											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL CRUDO, MBN	120,89	131,36	130,69	135,67	137,42	138,08	138,94	146,40	157,99	165,64	166,42
TOTAL DILUENTE, MBN	99,89	108,55	107,99	112,11	113,55	114,10	114,81	120,97	130,55	136,87	137,52
TOTAL CRUDO DILUIDO	220,78	239,91	238,68	247,78	250,97	252,18	253,75	267,37	288,54	302,51	303,94
TOTAL AGUA, MB	24,76	28,84	30,66	31,82	34,36	36,70	36,93	41,29	44,56	46,72	49,71
% AGUA EN EL CF	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23
Barriles Bruto Agua	145,65	180,20	161,35	167,49	171,78	174,78	175,87	187,69	202,55	212,36	216,13
TOTAL FLUIDO, MBD	245,55	268,74	269,34	279,60	285,33	288,88	290,68	308,67	333,10	349,23	353,65
RGP, PCBLS	427,00	433,00	440,00	447,00	454,00	461,00	468,00	476,00	483,00	491,00	498,00
TOTAL GAS, MMPCND	51,62	56,88	57,50	60,64	62,39	63,65	65,02	69,69	76,31	81,33	82,88
<b>PERFIL TOTAL. CAMPO CERRO NEGRO</b>											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL CRUDO, MBPD	120,89	131,36	130,69	135,67	137,42	138,08	138,94	146,40	157,99	165,64	166,42
TOTAL AGUA, MB	24,76	28,84	30,66	31,82	34,36	36,70	36,93	41,29	44,56	46,72	49,71
TOTAL GAS, MMPCND	51,62	56,88	57,50	60,64	62,39	63,65	65,02	69,69	76,31	81,33	82,88





**APÉNDICE C**  
**(Tablas de resultados)**

**Tabla C.1 Comparación con diferentes diámetros y volumetría**

LINK	DIÁMETRO (pulg)	LONG (Pie)	FLUJO VOLUMÉTRICO DE DILUENTE (BPD)	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE PERMISIBLE SEGÚN NORMA PDVSA L-TP-1.5	VELOCIDAD DEL LÍQUIDO (pie/s)	VELOCIDAD PERMISIBLE SEGÚN NORMA PDVSA L-TP-1.5 (pie/s)	VELOCIDAD DE EROSIÓN (pie/s)
L027	16	38,71	38000	0,046	1 a 3	2,06	3 a 6	21,8
	16	38,71	87550	0,21	1 a 3	4,75	3 a 6	21,8
L029	16	59,38	38000	0,011	1 a 3	2,07	3 a 6	21,8
	16	59,38	87550	0,011	1 a 3	4,77	3 a 6	21,8
L033	16	12,47	38000	0,046	1 a 3	2,07	3 a 6	21,8
	16	12,47	87550	0,21	1 a 3	4,77	3 a 6	21,8
L006	16	9,84	38000	0,022	1 a 3	1,38	3 a 6	21,8
	16	9,84	87550	0,097	1 a 3	3,14	3 a 6	21,8
L010	16	9,84	38000	0,0067	1 a 3	0,69	3 a 6	21,8
	16	9,84	87550	0,029	1 a 3	1,59	3 a 6	21,8
L003	6	3,12	38000	0,5	1 a 3	4,21	2 a 4	21,8
	10	3,12	87550	0,21	1 a 3	3,64	3 a 6	21,8
	4	2,62	38000	0,097	2 a 4	9,56	3 a 5	21,8
	10	2,62	87550	0,21	2 a 4	3,64	4 a 7	21,8
L008	6	3,12	38000	0,5	1 a 3	4,2	2 a 4	21,8
	10	3,12	87550	0,19	1 a 3	3,48	3 a 6	21,8
	4	2,62	38000	0,097	2 a 4	9,53	3 a 5	21,8
L009	10	2,62	87550	0,19	2 a 4	3,48	4 a 7	21,8
	6	3,12	38000	0,51	1 a 3	4,23	2 a 4	21,8
	10	3,12	87550	0,2	1 a 3	3,57	3 a 6	21,8
L015	4	2,62	38000	0,097	2 a 4	9,6	3 a 5	21,8
	10	2,62	87550	0,2	2 a 4	3,57	4 a 7	21,8
	12	9,84	38000	0,02	2 a 4	1,09	4 a 7	21,8
L016	12	9,84	87550	0,086	2 a 4	2,51	4 a 7	21,8
	12	9,84	38000	0,067	2 a 4	2,18	4 a 7	21,8
L005	12	9,84	87550	0,29	2 a 4	4,96	4 a 7	21,8
	12	246,06	38000	0,32	2 a 4	3,26	4 a 7	21,8
L007	12	246,06	87550	0,5	2 a 4	7,52	4 a 7	21,8
	12	223,43	38000	0,51	2 a 4	3,26	4 a 7	21,8
L021	12	223,43	87550	0,19	2 a 4	7,52	4 a 7	21,8
	12	8,2	38000	0,32	2 a 4	4,64	4 a 7	21,8
	12	8,2	87550	1	2 a 4	10,68	4 a 7	21,8

**Tabla C.2 Comparación con diferentes diámetros y volumetría**

LINK	DIÁMETRO (pulg)	LONG (Pie)	FLUJO VOLUMÉTRICO DE DILUENTE (BPD)	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE PERMISIBLE SEGÚN HORMA PDVSA L-TP-1.5	VELOCIDAD DEL LÍQUIDO (pie/s)	VELOCIDAD PERMISIBLE SEGÚN HORMA PDVSA L-TP-1.5 (pie/s)	VELOCIDAD DE EROSIÓN (pie/s)
L049	12	72178,48	38000	0,15	2 a 4	3,25	4 a 7	21,8
	20	72178,48	87550	0,079	2 a 4	3,02	4 a 7	21,8
L035	6	11563,98	38000	0,022	2 a 4	4,38	4 a 7	21,8
	12	11563,98	87550	0,15	2 a 4	3,9	4 a 7	21,8
L038	8	8221,95	38000	0,81	2 a 4	4,74	4 a 7	21,8
	12	8221,95	87550	0,57	2 a 4	4,1	4 a 7	21,8
L040	8	474,41	38000	0,46	2 a 4	4,74	4 a 7	21,8
	12	474,41	87550	0,22	2 a 4	4,1	4 a 7	21,8
L042	6	310,7	38000	0,57	2 a 4	4,38	4 a 7	21,8
	12	310,7	87550	0,15	2 a 4	3,38	4 a 7	21,8
L044	6	27,89	38000	0,15	2 a 4	12,57	4 a 7	21,8
	12	27,89	87550	0,64	2 a 4	7,48	4 a 7	21,8
L014	16	24,44	33000	0,57	1 a 3	1,79	3 a 6	21,8
	16	24,44	49960	0,022	1 a 3	2,71	3 a 6	21,8
L017	16	49,87	33000	0,15	1 a 3	1,8	3 a 6	21,8
	16	49,87	49960	0,81	1 a 3	2,72	3 a 6	21,8
L060	16	4,92	33000	0,011	1 a 3	0,9	3 a 6	21,8
	16	4,92	49960	0,022	1 a 3	1,35	3 a 6	21,8
L058	16	4,92	33000	0,011	1 a 3	0,9	3 a 6	21,8
	16	4,92	49960	0,022	1 a 3	1,37	3 a 6	21,8
L024	8	8,86	33000	0,22	1 a 3	3,17	2 a 4	21,8
	10	8,86	49960	0,15	1 a 3	3,06	3 a 6	21,8
	6	0,98	33000	0,8	2 a 4	5,48	3 a 5	21,8
L052	10	0,98	49960	0,15	2 a 4	3,06	4 a 7	21,8
	8	11,48	33000	0,81	1 a 3	5,5	2 a 4	21,8
	10	11,48	49960	0,15	1 a 3	3,03	3 a 6	21,8
	6	0,98	33000	0,81	2 a 4	5,5	3 a 5	21,8
	10	0,98	49960	0,15	2 a 4	3,03	4 a 7	21,8

**Tabla C.3 Comparación con diferentes diámetros y volumetría**

LINK	DIÁMETRO (pulg)	LONG (Pie)	FLUJO VOLUMÉTRICO DE DILUENTE (BPD)	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE	CAÍDA DE PRESIÓN POR CADA 100 PIE PERMISIBLE SEGÚN NORMA PDVSA L-TP-1.5	VELOCIDAD DEL LÍQUIDO (pie/s)	VELOCIDAD PERMISIBLE SEGÚN NORMA PDVSA L-TP-1.5 (pie/s)	VELOCIDAD DE EROSIÓN (pie/s)
L031	12	10,83	33000	0,031	2 a 4	1,42	4 a 7	21,8
	12	10,83	49960	0,066	2 a 4	2,16	4 a 7	21,8
L013	10	21,65	33000	0,25	2 a 4	4,03	4 a 7	21,8
	10	21,65	49960	0,52	2 a 4	6,1	4 a 7	21,8
L028	10	23,95	33000	0,089	2 a 4	4,03	4 a 7	21,8
	10	23,95	49960	0,16	2 a 4	6,1	4 a 7	21,8
L047	10	333,99	33000	0,25	2 a 4	4,03	4 a 7	21,8
	10	333,99	49960	0,16	2 a 4	6,1	4 a 7	21,8
L046	10	229,66	33000	0,25	2 a 4	4,03	4 a 7	21,8
	10	229,66	49960	0,52	2 a 4	6,1	4 a 7	21,8
L022	10	4,27	33000	0,25	2 a 4	4,03	4 a 7	21,8
	10	4,27	49960	0,52	2 a 4	6,1	4 a 7	21,8
L050	10	29527,56	33000	0,21	2 a 4	4,01	4 a 7	21,8
	20	29527,56	49960	0,0116	2 a 4	1,72	4 a 7	21,8
L048	10	5147,64	33000	0,089	2 a 4	3,11	4 a 7	21,8
	10	5147,64	49960	0,25	2 a 4	1,77	4 a 7	21,8
L059	6	4922,24	33000	0,2	2 a 4	2,46	4 a 7	21,8
	12	4922,24	49960	0,089	2 a 4	2,5	4 a 7	21,8
L064	10	454,4	33000	0,16	2 a 4	3,11	4 a 7	21,8
	10	454,4	49960	0,11	2 a 4	2,51	4 a 7	21,8
L061	6	454,4	35,76	0,2	2 a 4	2,46	4 a 7	21,8
	12	454,4	49960	0,089	2 a 4	2,5	4 a 7	21,8
L063	6	35,76	33000	0,25	2 a 4	10,93	4 a 7	21,8
	12	35,76	49960	0,23	2 a 4	4,27	4 a 7	21,8



**APÉNDICE D**  
**(Muestra de Cálculos)**

### D.1 Velocidad de erosión (Ve):

$$V_e = \frac{160}{\sqrt{\rho_m \left( \frac{lb}{pie^3} \right)}}$$

$$V_e = \frac{160}{\sqrt{53.82}} = 21.80 \text{ pie} / \text{seg}$$

#### Donde:

*Verosión* : velocidad de erosión (pie/seg)

$\rho_m$ : densidad de la mezcla. (lb/pie<sup>3</sup>)

### D.2 Caudal de flujo volumétrico total máximo (Q<sub>tmax</sub>):

$$Q_{T O-16} = 49960 \text{ BPD} = 1457.17 \text{ GPM}$$

$$Q_{T J-20} = 87560 \text{ BPD} = 2553.83 \text{ GPM}$$

### D.3 Caudal de flujo volumétrico unitario por bomba (Q<sub>UB</sub>)

$$Q_{UB O-16} = \frac{Q_{T(\max)}}{N_{Bo}} = \frac{1457,15}{2} = 728,585 \text{ GPM} / \text{BOMBA}$$

$$Q_{UB J-20} = \frac{Q_{T(\max)}}{N_{Bo}} = \frac{2553,83}{3} = 851,276 \text{ GPM} / \text{BOMBA}$$

#### Donde:

**Q<sub>UB</sub>**: caudal de flujo volumétrico unitario por bomba (GPM / BOMBA)

**Q<sub>tmax</sub>**: caudal de flujo volumétrico total máximo (GPM)

$N_{Bo}$ : número de bombas operativas

#### D.4 Caudal nominal especificado por bomba ( $Q_{NB}$ )

Para el paquete de bombas P003-A/B/C las cuales bombean para la EF J-20

$$Q_{NB} = 375 \text{ GPM}$$

Para el paquete de bombas P003- D/E las cuales bombean para la EF O-16

$$Q_{NB} = 1040 \text{ GPM}$$

#### D.5 Presión máxima de descarga del tanque $P_{o(\max)}$

$$P_{o(\max)} = Patm + \left[ (H_{HT} - H_{DT}) * \frac{GE}{2,31} \right]$$

$$P_{o(\max)} = 14.7 + \left[ (11.26 - 5) * \frac{0,86583}{2,31} \right] = 22,57 \text{ lpc}$$

**Donde:**

$P_{o(\max)}$ : presión máxima de descarga del tanque (lpc)

$Patm$ : presión atmosférica (lpca)

$H_{HT}$ : nivel de operación alto- alto del tanque de recibo (pie)

$H_{DT}$ : altura de la boquilla de descarga del tanque (pie)

G.E: gravedad especifica del diluyente

#### D.6 Presión mínima de descarga del tanque de recibo $P_{O(\min)}$

$$P_{o(\min)} = Patm + \left[ (H_{LT} - H_{DT}) * \frac{GE}{2,31} \right]$$



$$P_{o(\min)} = 14.7 + \left[ (8 - 5) * \frac{0,86583}{2,31} \right] = 15,82 \text{ lpc}$$

**Donde:**

$P_{o(\min)}$  : presión mínima de descarga del tanque de recibo (lpc)

$P_{atm}$  : presión atmosférica (lpc)

$H_{LT}$ : nivel de operación bajo-bajo del tanque de recibo (pie)

$H_{DT}$ : altura de la boquilla de descarga del tanque (pie)

G.E: gravedad específica del diluyente

### **D.7 Caída de presión en tuberías desde el tanque de recibo hasta las bombas**

#### **P003-A/B/C/D/E**

$$\Delta P = P_{SUCCIÓN} - P_{SUCCIÓN \text{ DE CADA BOMBA}}$$

$$\Delta P_A = 3,77 - 2,60 = 1,17 \text{ lpc}$$

$$\Delta P_B = 3,77 - 2,59 = 1,18 \text{ lpc}$$

$$\Delta P_C = 3,77 - 2,6 = 1,17 \text{ lpc}$$

$$\Delta P_D = 3,77 - 3,02 = 0,75 \text{ lpc}$$

$$\Delta P_E = 3,77 - 3,04 = 0,73 \text{ lpc}$$

### **D.8 Presión máxima de succión de las bombas**

$$P_{I(\max)} = P_{o \max} + \Delta P_{\text{cada bomba}}$$

$$P_{A(\max)} = 22,57 + 1,169 = 23,73 \text{ lpc}$$

$$P_{B(\max)} = 22,57 + 1,171 = 23,74 \text{ lpc}$$

$$P_{C(\max)} = 22,57 + 1,7 = 23,74 \text{ lpc}$$

$$P_{D(\max)} = 22,57 + 0,741 = 23,31 \text{ lpc}$$

$$P_{E(\max)} = 22,57 + 0,72 = 23,29 \text{ lpc}$$

**Donde:**

$P_{1(\max)}$ : Presión máxima de succión de las bombas (lpc)

$P_{o \max}$ : Presión máxima de descarga de los tanques 20001 y 20002 (lpc)

$\Delta P_{\text{cada bomba}}$ : Caída de presión en tuberías desde los tanques 20001 y 20002 hasta cada paquete de bombas (lpc)

**D.9 Presión mínima de succión de las bombas**

$$P_{1(\min)} = P_{o \min} + \Delta P_{\text{cada bomba}}$$

$$P_{A(\min)} = 15,82 + 1,169 = 16,989 \text{ lpc}$$

$$P_{B(\min)} = 15,82 + 1,171 = 16,991 \text{ lpc}$$

$$P_{C(\min)} = 15,82 + 1,17 = 16,99 \text{ lpc}$$

$$P_{D(\min)} = 15,82 + 0,741 = 16,561 \text{ lpc}$$

$$P_{E(\min)} = 15,82 + 0,722 = 16,542 \text{ lpc}$$

**D.10 Cabezal neto de succión positiva disponible (NPSH<sub>D</sub>)**

$$NPSH_{D_{O-16}} = (P_{1 \min} - P_v) * \left( \frac{g_c * 144}{\rho * g} \right)$$

$$NPSH_{D_{0-16}} = (16,5 - 6) * \left( \frac{32,17 * 144}{53,2 * 32,18} \right) = 28,08 \text{ pie}$$

$$NPSH_{D_{J-20}} = (16,9 - 6) * \left( \frac{32,17 * 144}{53,2 * 32,18} \right) = 29,15 \text{ pie}$$

**Donde:**

$NPSH_D$ : cabezal neto de succión positiva disponible (pie)

$P_{1(\min)}$ : presión mínima de succión de las bombas (lpc)

$P_v$ : presión de vapor del fluido @ 90°F (lpc)

$\rho_c$ : densidad del diluyente (lb/pie<sup>3</sup>)

$g$ : aceleración de la gravedad (pie/sg<sup>2</sup>)

$g_c$ : constante dimensional (lb\*pie/lpc\*seg<sup>2</sup>)

**D.11 Factor de seguridad (Fs)**

$$Fs=1.1$$

**D.12 Cabezal neto de succión positiva requerido ( $NPSH_R$ )**

$$NPSH_R = \left( \frac{NPSH_D}{Fs} \right)$$

$$NPSH_{R_{0-16}} = \left( \frac{28,08}{1,1} \right) = 25,53 \text{ pie}$$

$$NPSH_{R_{J-20}} = \left( \frac{29,15}{1.1} \right) = 26,50 \text{ pie}$$

**Donde:**

NPSH<sub>R</sub>: cabezal neto de succión positiva requerido (pie)

NPSH<sub>D</sub>: cabezal neto de succión positiva disponible (pie)

FS: factor de seguridad

### **D.13 Presión de descarga de las bombas P003-A/B/C/D/E**

$$P_2 = 220 \text{ lpc}$$

### **D.14 Cabezal de velocidad en la succión ( $H_{v1}$ ) y descarga ( $H_{v2}$ ) de las bombas**

$$H_{v1} = \frac{(V_1)^2}{2 * g}$$

$$H_{v1O-16} = \frac{(40,33)^2}{2 * 32,18} = 25,27 \text{ pie}$$

$$H_{v1J-20} = \frac{(20,14)^2}{2 * 32,18} = 6,30 \text{ pie}$$

$$H_{v2O-16} = \frac{(7,62)^2}{2 * 32,18} = 0,90 \text{ pie}$$

$$H_{V2J-20} = \frac{(9,18)^2}{2 * 32,18} = 1,30 \text{ pie}$$

**Donde:**

$H_{V1}$ : cabezal de velocidad en la succión de las bombas (pie)

$H_{V2}$ : cabezal de velocidad en la descarga de las bombas (pie)

$V_1$ : velocidad en la succión de las bombas (pie/seg)

$V_2$ : velocidad en la descarga de las bombas (pie/seg)

$g$ : aceleración de gravedad (pie/seg<sup>2</sup>)

#### **D.15 Requerimiento de cabezal de las bombas ( $H_B$ )**

$$H_B = H_{V2} - H_{V1} + (P_2 - P_{1(\min)}) * \left( \frac{g * 144}{\rho_c * g_c} \right)$$

$$H_{BO-16} = 0,90 - 25,27 + (220 - 16,5) * \left( \frac{32,18 * 144}{53,82 * 32,17} \right) = 518,975 \text{ pie}$$

$$H_{BJ-20} = 1,30 - 6,30 + (220 - 16,9) * \left( \frac{32,18 * 144}{53,82 * 32,17} \right) = 537,277 \text{ pie}$$

**Donde:**

$H_B$ : requerimiento de cabezal de las bombas (pie)

$H_{V1}$ : cabezal de velocidad en la succión de las bombas (pie)

$H_{V2}$ : cabezal de velocidad en la descarga de las bombas (pie)

$P_{1(\min)}$ : presión mínima de succión de las bombas (lpc)

$P_2$ : presión de descarga de las bombas (lpc)

$g$ : aceleración de gravedad (pie/seg<sup>2</sup>)

$gc$ : constante dimensional (lb\*pie/lpc\*seg<sup>2</sup>)

$\rho_c$ : densidad del diluyente (lb/pie<sup>3</sup>)

#### **D.16 Presión máxima de descarga ( $P_{2 \max}$ )**

$$P_{2 \max} = P_{1 \max} + 1,2 + (P_2 - P_{1(\min)})$$

$$P_{2(\max)O-16} = 23,311 + 1,2 + (220 - 16,5) = 267,51lpc$$

$$P_{2(\max)J-20} = 23,739 + 1,2 + (220 - 16,9) = 267,45lpc$$

**Donde:**

$P_{2(\max)}$ : presión máxima de descarga de las bombas (lpc)

$P_{1(\max)}$ : presión máxima de succión de las bombas (lpc)

$P_{1(\min)}$ : presión mínima de succión de las bombas (lpc)

$P_2$ : presión de descarga de las bombas (lpc)

#### D.17 Potencia hidráulica de las bombas eléctricas (PH)

$$PH = Q_{NB} * \frac{(P_2 - P_{1(\min)})}{1714}$$

$$PH_{O-16} = 1040 * \frac{(267,51 - 16,5)}{1714} = 152,30hp$$

$$PH_{J-20} = 375 * \frac{(267,459 - 16,9)}{1714} = 54,81hp$$

**Donde:**

$P_H$ : potencia hidráulica de las bombas eléctrica (hp)

$P_{1(\min)}$ : presión mínima de succión de las bombas (lpc)

$P_2$ : presión de descarga de las bombas (lpc)

$Q_{NB}$ : caudal nominal especificado por bomba (GPM)

#### D.18 Potencia al freno de la bomba (Pf)

$$Pf = \frac{PH}{E_o}$$

$$Pf_{O-16} = \frac{152,30}{0,75} = 203,06hp$$

$$Pf_{J-20} = \frac{54,81}{0,75} = 73,08hp$$



**Donde:**

$P_F$ : potencia del motor eléctrico (hp)

$P_H$ : potencia hidráulica de las bombas eléctrica (hp)

$E_o$ : eficiencia global de la bomba (sugerido en la normativa para una bomba centrífuga multi etapas)

#### **D.19 Potencia del motor eléctrico ( $P_E$ )**

$$P_E = \frac{P_f}{E_M}$$

$$P_{E_{o-16}} = \frac{203,06}{0,75} = 270,74hp$$

$$P_{E_{J-20}} = \frac{73,08}{0,75} = 97,44hp$$

**Donde:**

$P_E$ : potencia del motor eléctrico (hp)

$P_F$ : potencia al freno (hp)

$E_M$ : eficiencia del motor eléctrico

#### **D.20 Temperatura de diseño ( $T_D$ )**

$$T_D = T_o + 50^\circ F$$

$$T_D = 90 + 50 = 140^\circ F$$

## HOJAS METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

<b>Título</b>	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA Y BOMBEO DE DILUENTE DESDE COMOR HASTA LAS EF O-16 Y J-20 EN EL ÁREA EXTRACCIÓN EXTRAPESADO DEL DISTRITO MORICHAL
<b>Subtítulo</b>	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

#### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Guzmán M., Nieves M.	<b>CVLAC</b>	19.091.344
	<b>e-mail</b>	guzmanieves@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

#### Palabras o frases claves:

Evaluación Hidráulica
Sistema de Transferencia
Simulador PIPEPHASE 9.1
Diluyente Mesa 30

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Tecnología (Ciencias Aplicadas)	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

### Resumen (Abstract):

El presente estudio tuvo como finalidad fundamental realizar una evaluación hidráulica al sistema de transferencia y bombeo de diluyente desde COMOR hasta las EF O-16 y J-20 en el área extracción extra pesado del Distrito Morichal con el propósito de verificar si el sistema actual cumple con la normativa de la empresa y también si este sistema cumplirá con los requerimientos del portafolio de oportunidades (2010-2020) propuesto por PDVSA Distrito Morichal, mediante el análisis de los resultados arrojados por el simulador PIPEPHASE 9.1 al cual se le suministró la data obtenida en campo y la caracterización del fluido estudiado (Mesa 30), al igual que también se evaluaron los equipos (bombas y tanques) que conforman este sistema de transferencia y bombeo de diluyente el cual esta conformado por 30 kilómetros de tubería cinco bombas y dos tanques a evaluar mediante ecuaciones establecidas en las normativas de PDVSA.

Los resultados arrojados por este análisis concluyeron que este sistema de transferencia y bombeo de diluyente para manejar dicha volumetría propuesta por el PDO 2010-2020 tiene que cambiar tramos de tuberías estratégicos los cuales no cumplieron con los criterios establecidos por la norma PDVSA 90616.1.024.

Si el funcionario de SIBIUDO encargado de transcribir los metadatos encuentra este campo en blanco, debe copiarlo de la versión digital del texto del trabajo mediante "copiar y pegar".

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail				
Ing. Contreras Isaac	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	11.344.724			
	<b>e-mail</b>	isaac_pavel@hotmail.com			
	<b>e-mail</b>				
Ing. Calzadilla Hortensia	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	11.781.853			
	<b>e-mail</b>	hortencarolina@gmail.com			
	<b>e-mail</b>				
Ing. Díaz Jaime	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>	klafelix@hotmail.com			
	<b>e-mail</b>				

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2011		

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

### Lenguaje:

spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis nieves guzman	Word 2003

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

### Alcance:

Espacial: \_\_\_\_\_ (opcional)

Temporal: \_\_\_\_\_ (opcional)

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Dato requerido. Ejs: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

### Nivel Asociado con el Trabajo:

Ingeniera

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Postdoctorado, etc.

### Área de Estudio:

Tecnología (Ciencias Aplicadas)

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

### Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.



Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR *[Firma]*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,  
*[Firma]*  
JUAN A. BOLANOS CUMBELE  
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

### Derechos:

**Artículo 41 del REGLAMENTO DEL TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009):** “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”

---

**Br. Nieves María Guzmán Malpica**  
**C.I. 19.091.344**  
**AUTOR**

---

**Msc. Isaac Contreras**  
**CI. 11.344.724**  
**ASESOR**