



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

**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLAS EN LOS POZOS  
CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE DEL ÁREA  
EXTRAPESADO, DISTRITO MORICHAL**

**REALIZADO POR:  
ALBERTO JOSÉ BERRÍO SARMIENTO  
C.I. 17.754.934**

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

**INGENIERO DE PETRÓLEO**

**MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2013.**



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

**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLAS EN LOS POZOS  
CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE DEL ÁREA  
EXTRAPESADO, DISTRITO MORICHAL**

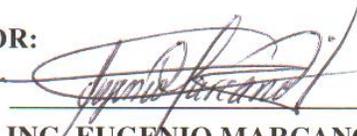
**REALIZADO POR:**

**ALBERTO JOSE BERRIO SARMIENTO**

**C.I.: 17.754.934**

**REVISADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. FERNANDO CAÑIZALES**  
Asesor Académico

  
\_\_\_\_\_  
**ING. EUGENIO MARCANO**  
Asesor Industrial

**MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2013**



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

**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLAS EN LOS POZOS  
CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE DEL ÁREA  
EXTRAPESADO, DISTRITO MORICHAL**

**REALIZADO POR:**

**ALBERTO JOSE BERRIO SARMIENTO**  
C.I.: 17.754.934

**APROBADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**MARTHA ESPINOZA**  
Jurado Principal

  
\_\_\_\_\_  
**AIROGLA VILLALOBOS**  
Jurado Principal

  
\_\_\_\_\_  
**ING. FERNANDO CAÑIZALES**  
Asesor Académico

**MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2013**

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

**“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.**



## DEDICATORIA

En primer lugar a mi Díos todo poderoso, por darme fuerza y valor para alcanzar esta meta, sin su compañía e iluminación no hubiese conquistado este triunfo, gracias Diosito mío.

A mi padre querido Donaldo Berrío por su ayuda incondicional en todo momento, por estar presente en mi crecimiento, por confiar en mí, por tu apoyo cada vez que necesite estuviste ahí. Mil gracias padre mío te amo.

A mi madre querida y amada Marlene Sarmiento, se que estas orgullosa de mi, mi corazón es tuyo, se que has sufrido mucho madre mía, pero aquí te dedico este trabajo como símbolo de amor, para aliviar un poco tu alma, te amo, gracias por existir.

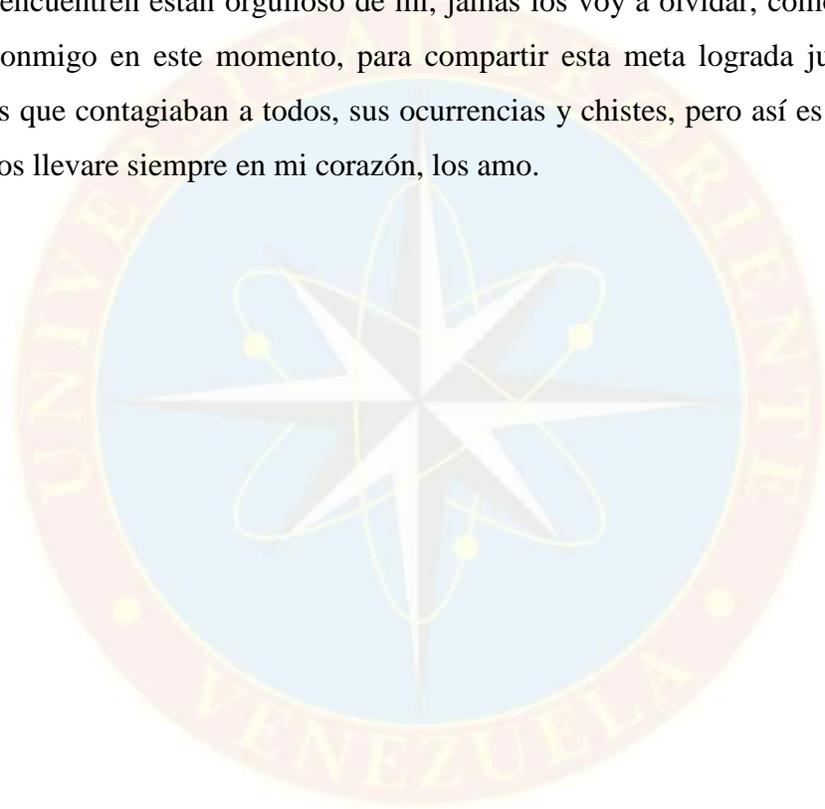
A mi madre de crianza Cleotilde Terán que me abrigo con su cariño y amor, por luchar para darme lo necesario para conseguir este logro, gracias por sus consejos soy lo que soy, la amo mucho.

A mi hija bella hermosa, mi luz y alma Valery Berrío Mata, desde que llegaste a mi vida me distes mas fuerzas para luchar y conseguir lo que soy ahora, este triunfo te pertenece, te amo mi negrita bella.

A mi esposa Yennys Mata, gracias por estar conmigo, por tu apoyo incondicional, este logro te pertenece amor mío.

A mis hermanos, Marlene, Maria Eugenia, Almaira, Donaldito, Tenilda, Hober, Oniel y Dianoris, gracias por confiar en mí, por estar pendiente siempre de mis pasos, agradecido estaré por siempre, los amo a todos.

A mis dos hermanos caídos por circunstancias de la vida, Javier Berrío (Magdaleno) y Henry Berrío, gracias por su amor dado en vida, se que donde quiera que se encuentren están orgulloso de mí, jamás los voy a olvidar, como quisiera que estén conmigo en este momento, para compartir esta meta lograda juntos, con sus sonrisas que contagiaban a todos, sus ocurrencias y chistes, pero así es la vida, no se pudo, los llevare siempre en mi corazón, los amo.



## AGRADECIMIENTOS

A mi Díos todo poderoso por darme la fuerza necesaria para conseguir este logro importante para mi vida, gracias mí Diosito, por estar siempre a mi lado.

A mis padres Donaldo Berrío y Marlene Sarmiento por estar a mi lado todo el tiempo, por su apoyo y amor, gracias por confiar en mi los amo.

A mi madre de crianza Cleotilde Terán, gracias por su amor y consejos que hicieron de mí un hombre con principios.

A mi esposa Yennys Mata, gracias amor por estar conmigo en las buenas y malas, estoy muy agradecido contigo, eres lo máximo amor mío ojala Díos todo poderoso nos de larga vida, para llenarnos de mucha felicidad.

Al señor Carlos Azpurúa y esposa Maria Josefina de Azpurúa por contribuir con mi desarrollo como persona y profesional, por aportar desde mi inicio escolar todas las herramientas para lograr esta meta, estaré agradecido por siempre con ustedes, mil gracias.

A mi amigo del alma y hermano Ronald Parra (infalible) siempre estuvo conmigo dándome apoyo moral, espero tu también logres tu meta mi hermano te quiero.

A mis amigos de tesis (pasantia) Maxwel, Jorge Subero, Carolis Mundarain, Gabriel Medina, Meribe, Adrián Martínez, Clara Quijada, René Navarrete, Mariangi Mora, Jennifer Sánchez, Javiera Rojas, Madaleine, verónica, Carlos jiménez, gracias todos fueron pieza fundamental para lograr y terminar la tesis.

A mi catira bella Rowina Ascanio, gracias de verdad estuviste ahí cuando necesite ayuda, jamás olvidare lo que hiciste por mí, te quiero.

A mi amiga Ing. Marcela Reyes, gracias mil gracias, eres muy especial para mí, jamás me dejaste solo, eres un sol Díos te bendiga.

A mi pana Ing. Leidis Guzmán por su ayuda incondicional, sin ti esta tesis no fuera posible, te moleste bastante y siempre con tu sonrisa y alegría me distes todas las herramientas para culminar mi tesis, gracias.

A mi querida Ing. Dennys Liscano, por su cariño y orientaciones para desarrollar mi tesis, mil gracias te quiero.

A la Ing. Yoelvis Angulo, gracias por sus consejos e ideas, fueron guías para lograr este trabajo, gracias.

A mi tutor académico, Ing. Fernando Cañizales, gracias por sus consejos y orientaciones, agradecido.

A mi tutor industrial Ing. Eugenio Marcano, mil gracias por tus consejos gracias por apoyo, eres un ejemplo a seguir.

A mi academia UDO por darme la oportunidad de egresar de la casa mas alta de estudio del oriente del país, a PDVSA, Distrito Morichal, gracias por recibirme y darme las herramientas para lograr esta meta de mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES</b> .....	<b>3</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	7
2.2.1 Ubicación del Distrito Morichal.....	8
2.3 BASES TEÓRICAS.....	9
2.3.1 Bombeo de Cavidades Progresivas (BCP).....	9
2.3.2 Equipos de Subsuelo de un Sistema de BCP.....	11
2.3.3 Equipos de Superficie de un Sistema de BCP.....	14
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	19
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>20</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>20</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	21
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	21
3.4.1 Descripción de la Completación y Operatividad de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare.....	21
3.4.2 Identificación de las Fallas de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare.....	22
3.4.3 Análisis de la Causa-Raíz de las Fallas Recurrentes en los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare.....	22
3.4.4 Propuesta de Posibles Soluciones para la Minimización de las Fallas de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare.....	23

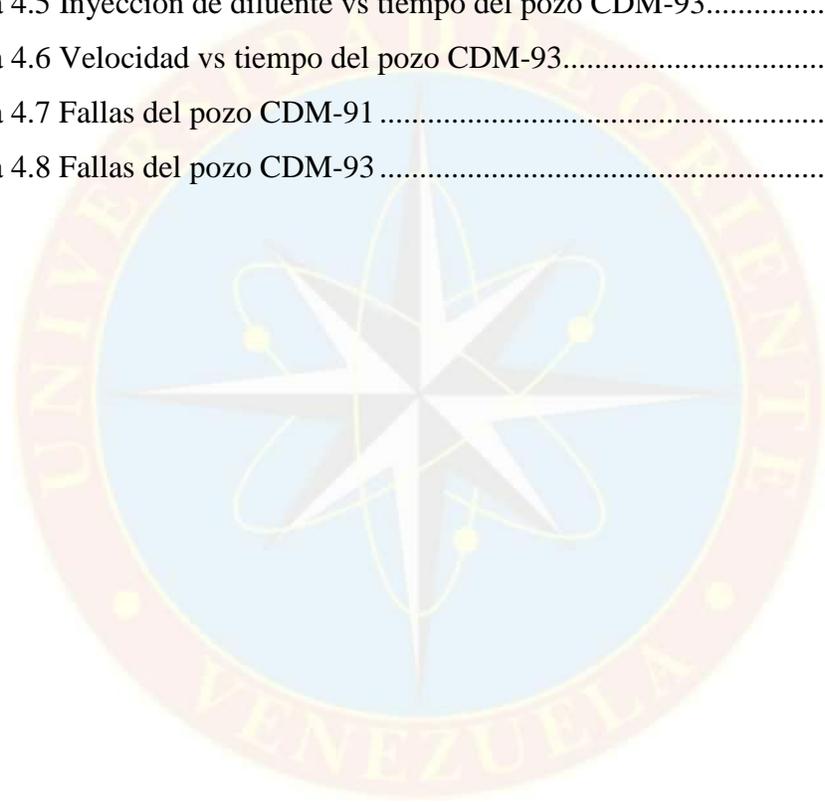
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	23
3.6 RECURSOS .....	25
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>26</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA COMPLETACIÓN Y OPERATIVIDAD DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE.....	26
4.1.1 Parámetros Operacionales Recomendados para los Pozos CDM-91 y CDM-93.....	32
4.1.2 Valores Promedios de Operación de los Parámetros por Pozo .....	33
4.1.3 Comportamiento de la Producción, Inyección de Diluyente y Velocidad vs el Tiempo de los Pozos CDM-91 y CDM-93.....	34
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE .....	39
4.3 ANÁLISIS DE LA CAUSA-RAÍZ DE LAS FALLAS RECURRENTE EN LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE .....	41
4.4 PROPUESTA DE POSIBLES SOLUCIONES PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS FALLAS DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE .....	42
4.4.1 Selección del Mejor Diseño de Completación de Cada Pozo .....	43
4.4.3 Procedimiento Adecuado para la Bajada de Cabillas .....	49
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>52</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	52
5.2 RECOMENDACIONES .....	53
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>57</b>
<b>HOJA DE METADATOS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Ventajas y limitaciones de las BCP .....	16
Tabla 4.1 Completación inicial del pozo CDM-91 .....	27
Tabla 4.2 Completación actual del pozo CDM-91.....	27
Tabla 4.3 Completación inicial del pozo CDM-93 .....	30
Tabla 4.4 Completación actual del pozo CDM-93.....	30
Figura 4.2 Diagrama mecánico actual del pozo CDM-93.....	31
Tabla 4.5 Parámetros operacionales recomendados para el pozo .....	33
CDM-91	33
Tabla 4.6 Parámetros operacionales recomendados para el pozo .....	33
CDM-93	33
Tabla 4.7 Valores promedios actuales de operación de pozos CDM-91 y CDM-93 ..	34
Tabla 4.8 Fallas más recurrentes en el pozo CDM-91 .....	41
Tabla 4.9 Fallas más recurrentes en el pozo CDM-93.....	42
Tabla 4.10 Comparación de las completaciones del pozo CDM-91, mediante simulaciones .....	45

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 4.1 Tasa de producción vs tiempo del pozo CDM-91.....	36
Gráfica 4.2 Tasa de inyección de diluyente vs tiempo pozo CDM-91 .....	36
Gráfica 4.3 Velocidad vs tiempo del pozo CDM-91.....	37
Gráfica 4.4 Tasa de producción vs tiempo del pozo CDM-93.....	38
Gráfica 4.5 Inyección de diluyente vs tiempo del pozo CDM-93.....	38
Gráfica 4.6 Velocidad vs tiempo del pozo CDM-93.....	39
Gráfica 4.7 Fallas del pozo CDM-91 .....	40
Gráfica 4.8 Fallas del pozo CDM-93 .....	40



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco .....	8
Figura 2.2 Ubicación del Distrito Morichal .....	9
Figura 2.3 Bomba de cavidades progresivas.....	10
Figura 2.4 Corte longitudinal de un elastómero.....	11
Figura 2.5 Corte longitudinal de un rotor .....	12
Figura 2.6 Niple de paro.....	13
Figura 2.7 Anclas de torque .....	13
Figura 2.8 Motor y cabezal de una BCP .....	14
Figura 2.9 Barra pulida de una BCP .....	15
Figura 2.10 Prensa estopa .....	15
Figura 4.1 Diagrama mecánico actual del pozo CDM-91.....	28
Tabla 4.11 Comparación de las completaciones del pozo CDM-93, mediante simulaciones.....	47
Figura 4.3 Rosca con grasa y sin grasa, respectivamente .....	50



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

**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLAS EN LOS POZOS  
CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE DEL ÁREA  
EXTRAPESADO, DISTRITO MORICHAL**

**Autor:**

**Alberto José**

**Berrío Sarmiento**

**Año 2013**

**Asesores:**

**Asesor académico: Fernando Cañizales**

**Asesor industrial: Eugenio Marcano**

**RESUMEN**

Esta investigación tuvo como principal objetivo analizar la frecuencia de fallas en los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare del área extrapesado, Distrito Morichal; fue indispensable y necesario realizar el análisis de fallas para minimizar y erradicar de manera inmediata los problemas y fallas operacionales de ambos pozos, que han traído como resultado paradas inesperadas y pérdida de producción, por tal sentido, para lograr y conseguir cambios exitosos en el funcionamiento y productividad de dichos pozos fue necesario describir la completación y operatividad de los pozos, identificar las fallas, analizar la causa-raíz y proponer soluciones para la minimización de todos los problemas y fallas asociadas a los pozos. De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo concluir que es imprescindible prestar la máxima atención a todos los parámetros operacionales desde el momento de la activación de cada pozo, para así garantizar su operación eficiente con la consecuente rentabilidad económica para la industria. También se debe establecer como regla el mejor diseño de completación de cada pozo a perforar en el futuro en la extensa área de la Faja Petrolífera del Orinoco, lo cual traerá como resultados menos paradas inesperadas y menores pérdidas de producción.

## INTRODUCCIÓN

En la República Bolivariana de Venezuela, y principalmente en el Distrito Morichal, existen yacimientos de petróleo pesado y extrapesado, los últimos en mayor cantidad, donde la extracción del crudo se hace un proceso muy complejo. En las zonas donde se produce petróleo pesado y extrapesado es común el uso de métodos de levantamiento artificial, puesto que el crudo presenta altas viscosidades, lo que impide que fluya con facilidad. Con respecto a los crudos extrapesados, la mayoría de la macollas son llevados a las estaciones de flujo a través de oleoductos, con la ayuda de diluentes, que son crudos que presentan altas gravedades API y permiten disminuir la viscosidad del crudo, con la función principal de mejorar la movilidad de los mismos.

Por tal motivo, es importante mantener una monitorización detallada de las variables operacionales presentes en cada pozo que se encuentra activo, para obtener de forma confiable la respectiva y esperada producción desde el fondo del pozo hasta la superficie, por lo que se aplican los siguientes métodos de levantamiento artificial: bombeo de cavidades progresivas (BCP), bombeo electro sumergible (BES) y bombeo mecánico (BM).

Los pozos en estudio están completados con bombas de cavidades progresivas (BCP) las cuales presentan un crecimiento galopante en el Distrito Morichal, ya que constituyen el método a ser utilizado en las terminaciones de los nuevos pozos de generación de potencial y en los cambios de métodos de levantamiento. Estas bombas están compuestas por dos partes principales, que son: el estator (parte fija) y el rotor (parte móvil).

En el área de extrapesado la mayor parte de los pozos son horizontales, lo que aumenta apreciablemente el área de contacto entre el pozo y el yacimiento, obteniendo con ello mayor productividad. En esta investigación se estudiaron las fallas operacionales en su mayoría las de subsuelo que presentan los pozos CDM-91 y CDM-93 y las causas-raíces de las mismas, todo esto con el objeto de plantear posibles soluciones para minimizar las fallas de ambos.



# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Distrito Morichal es un área de suma importancia para la Nación por sus considerables reservas de crudo pesado y extrapesado, por tal motivo, es vital tener una operatividad y productividad de cada pozo en óptimas condiciones, con ello, un mayor índice de productividad, para cumplir con las metas y propósitos requeridas para el desarrollo del país y mantener la rentabilidad del negocio petrolero.

En el área de estudio, los pozos de crudo extrapesado en su mayoría son de forma horizontal, ya que esta técnica aumenta apreciablemente el área de contacto entre el pozo y el yacimiento, y por ende genera mayor productividad. A estos pozos se les inyecta como diluyente un crudo liviano, de 36° API, denominado Santa Bárbara, a nivel de fondo y superficie, que se mezcla con los fluidos de formación, incrementando la fluidez y movilidad del crudo extrapesado, facilitando así el transporte y manejo del mismo.

Para producir los pozos del área extrapesado en el Distrito Morichal, es necesario aplicar los métodos de levantamiento artificial como: BCP, BES, BM, siendo el primero el más predominante para la producción de dicho distrito.

El área extrapesado está conformada por dos estaciones operacionales: J-20 y O-16, de las que fue seleccionada para el estudio la macolla Urimare de la última estación, donde se tomaron dos pozos de mayores fallas recurrentes, CDM-91 y CDM-93, cabe destacar que estos pozos son horizontales, los cuales a pesar del poco tiempo que tienen activos, aproximadamente siete meses, han venido presentando

diversos problemas con el transcurrir del tiempo por fallas operacionales, tales como: rupturas de cabillas, pozos recirculando diluyente, generación de alto torque, rupturas de correas, desgaste del elastómero, cabezal con poca potencia, entre otros problemas asociados al pozo, limitando así la operatividad de cada uno, causando interrupción de producción no planificada.

En vista de lo anteriormente planteado, en este trabajo de investigación se analizaron estos problemas de manera específica para cada pozo, haciendo un estudio detallado de las fallas presentadas, para luego plantear posibles soluciones que minimicen los problemas asociados a cada uno, logrando con esto una mayor vida útil y una mejor productividad de los pozos, lo que redundará en mayores ganancias para PDVSA.

## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar la frecuencia de fallas en los pozos CDM-91 y CDM-93, de la macolla Urimare del área de extrapesado, Distrito Morichal.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Describir la completación y operatividad de los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare.
- Identificar las fallas de los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare.
- Analizar la causa-raíz de las fallas recurrentes en los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare.
- Proponer posibles soluciones para la minimización de las fallas de los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los pozos pertenecientes al área de extrapesado operan en su mayoría mediante el sistema de levantamiento artificial por bombeo de cavidades progresivas (BCP), a los cuales se les inyecta diluyente en fondo y/o en superficie, con el fin de disminuir la viscosidad del crudo; en tal sentido, se debe tener un control y estricta vigilancia de la inyección del diluyente y la operación integral del pozo, ya que una desviación en su funcionalidad traerá como consecuencia fallas en los equipos de fondo o de superficie, así como aumento de los costos operacionales; por tal razón, esta investigación se sustentó en mejorar el sistema de operatividad y productividad de cada pozo, garantizando una producción de crudo constante y óptima dentro de las especificaciones y calidades que requiere el mercado.

En este aspecto radica la importancia de aprovechar el sistema de levantamiento artificial y de monitorizar y controlar constantemente todos los parámetros operacionales, alargando así la vida útil de los equipos, respondiendo efectivamente con los compromisos de la empresa con la Nación y el mercado internacional.

El motivo de la realización y desarrollo de esta investigación fue analizar las fallas operacionales de cada pozo, para así obtener las condiciones óptimas de trabajo. Logrando así que disminuyan las rupturas de las correas, desgaste del elastómero, rupturas de cabillas, alto torque, entre otros problemas asociados a los pozos y su operatividad. Todos estos problemas se ven reflejados en paradas de producción no planificada y, por otro lado, el incumplimiento de la tasa de producción interna que tiene como meta el distrito.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**González, A. (2012);** en su trabajo titulado “Propuesta de mejoras técnicas al sistema de inyección de diluyente en fondo en los pozos del área extrapesado del Distrito Morichal, División Carabobo”, desarrolló una propuesta para mejorar la inyección de diluyente mediante un arreglo mecánico y la implementación de válvulas dosificadoras de control; observando que la alta tasa de inyección a nivel de fondo causaba: pérdidas de producción, daños a los equipos a nivel de fondo, ocasionando además problemas de dilución, entre otros. Para contrarrestar estos problemas propuso la disminución de la tasa de inyección de diluyente empleada a nivel de fondo y realizó el estudio detallado de operación del diagrama mecánico de inyección. Permitiendo concluir que el diluyente influía directamente en el torque de las cabillas y por ende en el amperaje del motor

**Ojeda, G. (2010);** en su trabajo de grado denominado “Optimización de la inyección de diluyente en los pozos con BM, BCP y BES del campo Cerro Negro, Área Extrapesado-Distrito Morichal”, planteó la problemática con la gravedad API del crudo, entre 8° y 12°, por lo que se inyectaba diluyente por su alta resistencia al flujo, sin embargo, no se tenía certeza de que este intervalo estuviese asociado al volumen óptimo de diluyente por pozo; se observó el efecto que generó la variación del volumen de éste en la producción neta, y permitió determinar un ganancial de producción por inyección de diluyente, definiendo el rango óptimo de dilución de acuerdo al tipo de levantamiento, entre 13 y 19 °API. Se concluyó que a medida que disminuye la gravedad API del diluyente, mayor es el volumen requerido para obtener una mezcla de una determinada gravedad API, además, demostró la disminución que

genera el diluyente en la presión del cabezal.

## **2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA EN ESTUDIO**

La Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) fue descubierta en el año 1936, con la perforación del pozo Canoa-1, el cual produjo crudo de 7 °API, a una tasa de 40 BPD, pero no fue sino hasta finales de los años 60 que el estudio sobre la FPO se cuantificó, cuando, a través de PDVSA, se evaluaron técnicas de producción en frío y caliente.

La FPO es una extensa zona rica en petróleo pesado y extrapesado ubicada al norte del río Orinoco, en Venezuela. Se extiende sobre un área de unos 650 km de este a oeste y unos 70 km de norte a sur, para una superficie total de 55314 km<sup>2</sup> y un área de explotación actual de 11593 km<sup>2</sup> (ver figura 2.1). Estos territorios comprenden parte de los estados venezolanos de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, desde el suroeste de la ciudad de Calabozo, en Guárico, hasta la desembocadura del río Orinoco, en el océano Atlántico.

Está conformada por cuatro campos:

- Campo Carabobo, con reservas estimadas en 227000 millones de barriles.
- Campo Boyacá, con 489000 millones de barriles.
- Campo Junín, con 557000 millones de barriles.
- Campo Ayacucho, con 87000 millones de barriles.

Para un total de 1,3689 billones de barriles, subdivididos en 29 bloques de 500 km<sup>2</sup> cada uno, aproximadamente. La FPO es considerada la acumulación más grande de petróleo pesado y extrapesado que existe en el mundo. (PDVSA, 2009)



**Figura 2.1 Ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco**

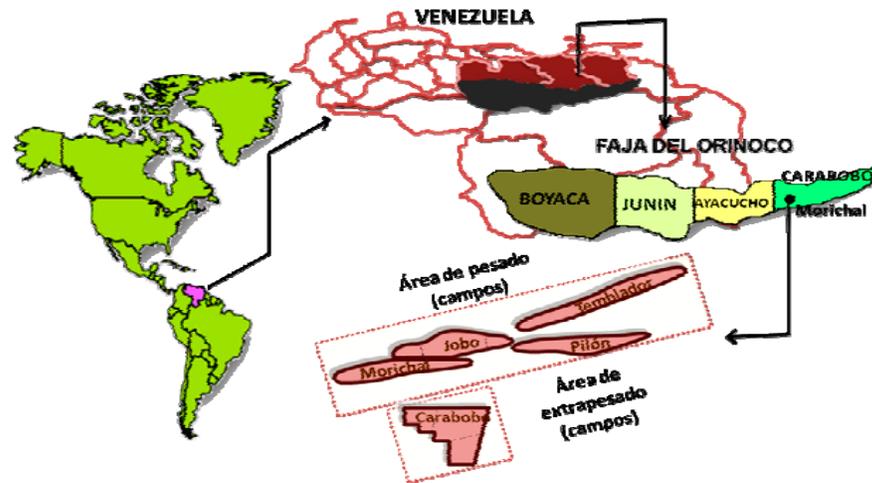
**Fuente:** RADIO NACIONAL DE VENEZUELA (2009).

### 2.2.1 Ubicación del Distrito Morichal

El Campo Carabobo de la FPO es un área productiva del Distrito Morichal, el cual se encuentra ubicado al sureste de la ciudad de Maturín, aproximadamente a 122 km de ésta (ver figura 2.2), específicamente en los municipios Libertador y Maturín del estado Monagas e Independencia del estado Anzoátegui. Se divide en dos áreas de extracción: Pesado y Extrapesado, por las bajas gravedades API de los yacimientos petrolíferos que conforman estas áreas, entre 7° y 22° API. La primera área está conformada por los campos Morichal, Jobo y Pilón, mientras que la segunda, como ya se describió, está constituida por el Campo Carabobo (antiguo Bloque Cerro Negro).

El área de pesado cuenta con diecisiete (17) estaciones de flujo (EF), una planta principal (estación principal Temblador, EPT-1) y un sistema de inyección de aguas efluentes (SIAE). Por otra parte, el área de extrapesado, que tiene 124 km<sup>2</sup>, posee dos estaciones de flujo (J-20 y O-16), un centro operativo (Centro Operativo Morichal, COMOR), compuesto por dos plantas: estación principal Morichal (EPM-1) y Módulo Principal de Emulsión (MPE-1), y un SIAE. De esta última área se extrae

crudo extrapesado proveniente del Miembro Morichal de la Formación Oficina.  
(PDVSA, 2009)



**Figura 2.2 Ubicación del Distrito Morichal**

Fuente: PDVSA (2009)

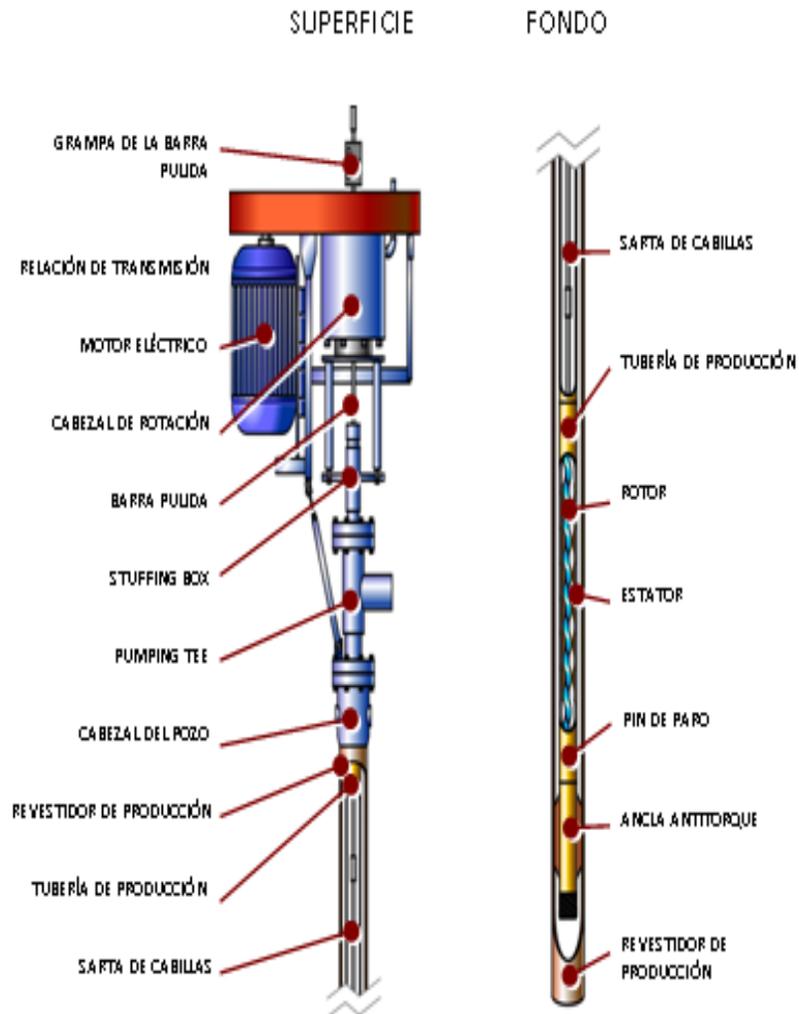
## 2.3 BASES TEÓRICAS

### 2.3.1 Bombeo de Cavidades Progresivas (BCP)

Las bombas de cavidades progresivas (BCP), representan un método de levantamiento artificial versátil para la producción de crudos extrapesados. Uno de los problemas que presenta su aplicación es la baja eficiencia de bombeo, la cual puede ser atribuida a diferentes factores, entre los más importantes están: bajo aporte de fluidos de los pozos, el resbalamiento y alta presencia de gas, lo que no sólo reduce la eficiencia sino que adicionalmente disminuye la vida útil de la bomba.

Estas bombas se fundamentan en el desplazamiento positivo de un volumen de fluido ocasionado por una diferencia de presión, producto de la transformación de la energía cinética en potencial. El rango de aplicación de caudal a procesar para este

método de levantamiento se encuentra entre 50 y 3000 BNPD, para una diversidad de condiciones de operación, que van desde el levantamiento de crudos con gravedades API de 8,5 a 30° y con viscosidades desde 5 hasta 10000 cP, a condiciones de yacimiento. (Chacín, 2003)



**Figura 2.3 Bomba de cavidades progresivas**

**Fuente:** Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

## 2.3.2 Equipos de Subsuelo de un Sistema de BCP

### 2.3.2.1 Estator

Es un cilindro de acero (o tubo) revestido internamente con un elastómero sintético (polímero de alto peso molecular), el cual es moldeado en forma de dos hélices y adherido fuertemente a dicho cilindro mediante un proceso especial. El estator se baja al pozo con la tubería de producción (bombas tipo tubular o de tubería) o con la sarta de cabillas (bombas tipo insertables). Usualmente está conectado a la tubería de producción; es una hélice doble interna y moldeada a precisión. En el estator se encuentra una barra horizontal en la parte inferior del tubo que sirve para sostener el rotor y a la vez es el punto de partida para el espaciado del mismo. (Chacín, 2004).

### 2.3.2.2 Elastómero

Constituye el elemento más “delicado” de la bomba y de su adecuada selección depende en gran medida el éxito de esta aplicación. El elastómero reviste internamente al estator y en sí es un polímero de alto peso molecular con la propiedad de deformarse y recuperarse elásticamente, propiedad que se conoce como resiliencia o memoria, y es la que hace posible que se produzca la interferencia entre el rotor y el estator, la cual determina la hermeticidad entre cavidades contiguas y, en consecuencia, la eficiencia de la bomba (bombeo). (Chacín, 2004).

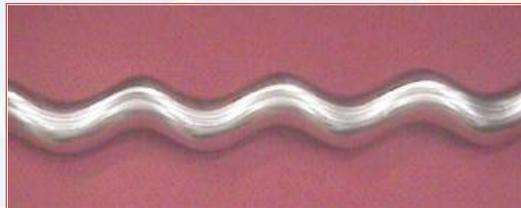


**Figura 2.4 Corte longitudinal de un elastómero**

**Fuente:** Manual de Bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

### 2.3.2.3 Rotor

Está fabricado con acero de alta resistencia mecanizado con precisión y recubierto con una capa de material altamente resistente a la abrasión. Se conecta a la sarta de cabillas (bombas tipo tubular) que le transmiten el movimiento de rotación desde la superficie hasta el fondo (accionamiento o impulsor). Suspendingo y girado por las varillas, es la única pieza que se mueve en la bomba. Tiene como función principal bombear el fluido, girando de modo excéntrico dentro del estator, creando cavidades que progresan en forma ascendente. (Brito, A.; Ruiz, R.; 2008; p. 24)



**Figura 2.5 Corte longitudinal de un rotor**

**Fuente:** Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

### 2.3.2.4 Niple de Paro

Es un tubo de pequeña longitud (corto) que se instala debajo del estator (bombas tubulares) y cuyas funciones principales son:

- Servir de punto tope al rotor cuando se realiza el espaciado del mismo.
- Brindar un espacio libre al rotor de manera de permitir la libre elongación de la sarta de cabillas durante la operación del sistema.
- Impedir que el rotor y/o las cabillas lleguen al fondo del pozo en caso de producirse rotura o desconexión de estas últimas.
- Servir de punto de conexión para accesorios tales como: anclas de gas o anti-torque, filtros de arena, etc. (Chacín, 2004)

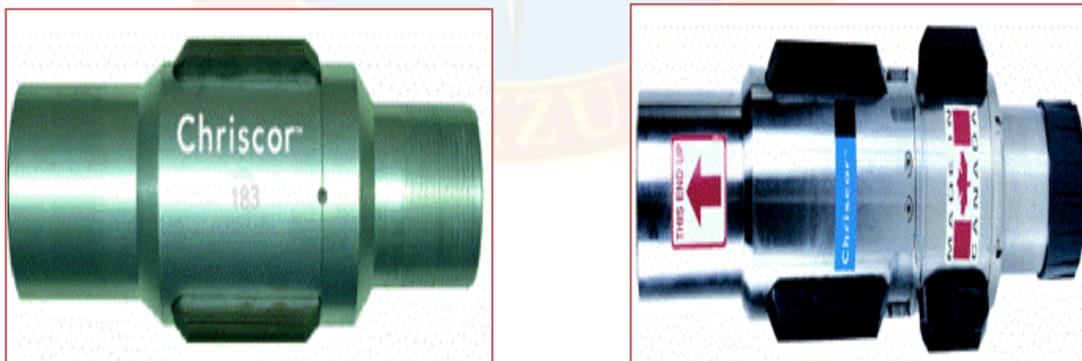


**Figura 2.6 Niple de paro**

**Fuente:** Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

### 2.3.2.5 Ancla de Torque

Al girar la sarta de cabillas hacia la derecha (vista desde arriba), la fricción entre el rotor y el estator hace que la tubería también tienda a girar en ese mismo sentido, que es el de desenroscar. Este efecto puede originar la desconexión de la tubería, la utilización de un ancla de torque evita este riesgo. Este equipo se conecta debajo del niple de paro y se fija al revestidor por medio de cuñas verticales; al arrancar la bomba el torque generado hace que las cuñas se aferren al mismo, impidiendo el giro del estator. (Chacín, 2004).



**Figura 2.7 Anclas de torque**

**Fuente:** Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

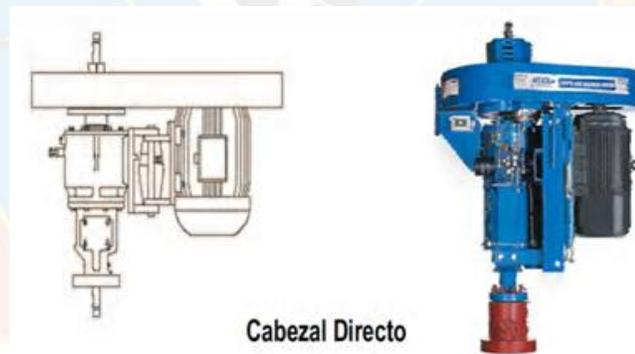
### 2.3.3 Equipos de Superficie de un Sistema de BCP

#### 2.3.3.1 Cabezal Giratorio

Tiene como función principal aguantar el peso de la sarta de cabillas y rotar la misma; está ajustado a una caja de velocidad variable con su respectiva caja de engranajes. (Castillo, 2001)

#### 2.3.3.2 Motor

Se encarga de accionar el cabezal giratorio a través de un conjunto de poleas y cadenas. Éste puede ser eléctrico, de combustión interna o hidráulico. (Castillo, 2001)



**Figura 2.8 Motor y cabezal de una BCP**

**Fuente:** Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)

#### 2.3.3.3 Barra Pulida

Es un tubo sólido de acero inoxidable que se conecta a la sarta de cabillas y es soportado en la parte superior del cabezal giratorio mediante la instalación de una grampa. (Castillo, 2001)



**Figura 2.9 Barra pulida de una BCP**

**Fuente:** Manual de equipos de superficie. PDVSA (2001)

#### **2.3.3.4 Prensa Estopa**

Tiene como función principal sellar el espacio entre la barra pulida y la tubería de producción, evitando con ello la filtración y comunicación del área donde está ubicado el pozo. El diámetro interno del prensa estopa varía, dependiendo de la barra pulida. (Castillo, 2001)



**Figura 2.10 Prensa estopa**

**Fuente:** Manual de equipos de superficie. PDVSA (2001)

**Tabla 2.1 Ventajas y limitaciones de las BCP**

<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Bajo costo de instalación y mantenimiento	Requieren suministro de energía eléctrica
Bombean crudos con baja y alta gravedad API	Su profundidad máxima de operación recomendada es de 8000 pies
Pueden manejar cortes de agua relativamente altos	No se recomiendan en pozos de más de 300 °F
El equipo de superficie puede ser transportado, instalado y removido fácilmente	Su eficiencia disminuye drásticamente en pozos con alta relación gas líquido
El bajo nivel de ruido y pequeño impacto visual las hace ideales para áreas urbanas	El elastómero es afectado por crudos con aromáticos
La presencia de gas no bloquea la bomba	
Eliminan la flotación de las cabillas	
Bajo consumo de energía eléctrica	
Manejo de tasas de hasta 2500 BPD	

**Fuente: Manual de bombeo de cavidad progresiva – BCP Esp Oil (2004)**

## 2.3.4 Algunos Parámetros que se Monitorizan en los Pozos

### 2.3.4.1 Torque

Es la fuerza con relación a un punto, producto de ésta por la distancia perpendicular desde la línea de acción de la fuerza al eje de rotación. Este caso va asociado a la sarta de cabillas que usan los pozos que producen con bombeo de cavidades progresivas y bombeo mecánico. (Chacín, 2004)

### 2.3.4.2 Velocidad

Representa la magnitud transmitida al motor para que origine la rotación de las cabillas en el caso del bombeo de cavidades progresivas, en revoluciones por minuto (rpm). (Chacín, 2004)

### 2.3.4.3 Diluyente

Constituye un factor indispensable para aquellos yacimientos de crudo pesado y extrapesado, ya que ayuda al movimiento y transporte del crudo a la superficie, y es una mezcla de crudo liviano. (Chacín, 2004)

## 2.3.5 Causas de Desviación de los Parámetros Operacionales

### 2.3.5.1 Variadores de Frecuencia

Rectifican la corriente alterna requerida por el motor y la modulan electrónicamente, produciendo una señal de salida con frecuencia y voltaje diferente; si esta corriente es mayor a la que puede soportar el variador se quemarían los fusibles y tarjetas que controlan la velocidad, torque y amperaje de los pozos.

### **2.3.5.2 Crudo Diluido**

Sucede cuando se le inyecta al pozo un volumen de diluyente por encima del requerido; hay casos en donde la válvula de retención (check), ubicada en superficie, que impide el paso del diluyente hacia el pozo falla, ocasionando así el regreso del primero hacia el fondo del último, sobre diluyendo el crudo. (Chacín, 2004).

### **2.3.5.3 Baja Productividad de los Pozos**

Normalmente los pozos con bajo potencial presentan disminución de los niveles de fluidos; cuando se instalan bombas de gran capacidad en cuanto a caudales, operando éstas a alta velocidad se observa baja eficiencia y se corre el riesgo de que la bomba trabaje en vacío, reflejándose en bajos valores de torque, bajo amperaje y baja presión de cabezal. (Chacin, 2004)

### **2.3.5.4 Crudo Pesado**

Ocurre cuando no se inyecta al pozo el volumen adecuado de diluyente, sino un volumen por debajo del mismo, logrando que el pozo refleje un alto torque, alto amperaje y alta presión en el cabezal. (Chacín, 2004).

### **2.3.6 Inyección de Diluyente**

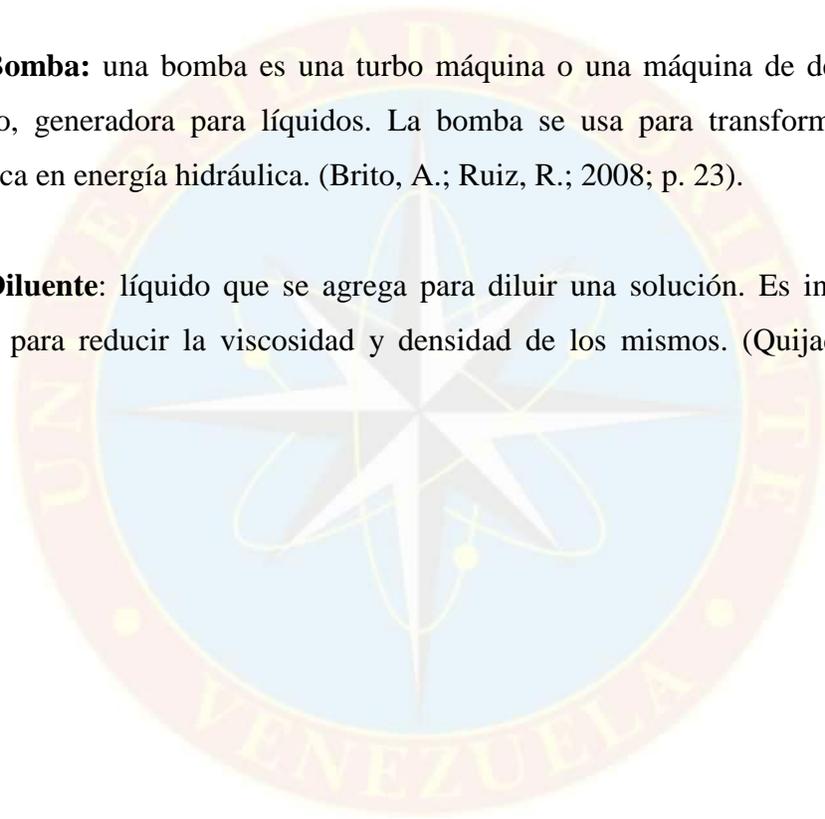
Es un proceso basado en inyectar un fluido de baja densidad y viscosidad que permite facilitar el transporte de crudos pesados y extrapesados a través de su recorrido y/o mejorar la gravedad API; si la inyección es mayor a la deseada habrá circulación de diluyente, y si es menor habrá mayor torque en el pozo. (Ojeda, 2010).

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**API:** la gravedad API, de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad que describe cuán pesado o liviano es el petróleo, comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en ésta. (Quijada, M.; 2006; p. 18).

**Bomba:** una bomba es una turbo máquina o una máquina de desplazamiento positivo, generadora para líquidos. La bomba se usa para transformar la energía mecánica en energía hidráulica. (Brito, A.; Ruiz, R.; 2008; p. 23).

**Diluyente:** líquido que se agrega para diluir una solución. Es inyectado a los fluidos para reducir la viscosidad y densidad de los mismos. (Quijada, M.; 2006; p. 24).



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación se realizó bajo la modalidad descriptiva, puesto que se aplicaron los conocimientos técnicos y de ingeniería necesarios para el análisis de las fallas recurrentes en los pozos CDM-91 y CDM-93. Según Arias, F. (2006, p. 24), “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”.

De acuerdo a lo expuesto en el párrafo anterior, los estudios descriptivos están dirigidos a medir y observar la información de manera independiente o conjunta sobre las variables a los que se refieren, tomando en cuenta que este tipo de investigación no se restringe a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

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

En relación al diseño de la investigación, ésta fue de campo, debido a que la misma estuvo dirigida a la evaluación de un problema real, cuyo propósito fue interpretar y recolectar los datos de las operaciones de campo, sin manipular ni controlar ninguna variable, observando los fenómenos tal y como ocurren en la realidad para luego analizarlos.

Basándose en Arias (2006) “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” (p. 31)

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Según Arias (2006), “La población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (p. 81); y el mismo autor define la muestra como “...un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p. 83)

La población estuvo conformada por la macolla Urimare, con 8 pozos activos en estos momentos; la muestra estuvo integrada por dos pozos, denominados CDM-91 y CDM-93, que fueron seleccionados como muestra por presentar mayores y recurrentes fallas, en comparación a los seis pozos restantes.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.4.1 Descripción de la Completación y Operatividad de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare**

En este objetivo se dio a conocer más a fondo el funcionamiento, operatividad y completación de cada pozo, con lo que se adquirió una visión más real de cada falla presentada durante la vida útil de los mismos. Para desarrollar esta etapa fue necesario realizar diferentes visitas al área en estudio, entrevistas con las personas que son custodios de estos pozos y consultas a documentación pertinente, con el objetivo de dar paso al extenso desarrollo de la descripción de estos pozos de forma profunda.

Además, se realizaron diferentes recorridos en el área en compañía del personal de mayor experiencia de la macolla Urimare, con el fin de definir los diferentes parámetros que contribuyan con el desarrollo y mejoramiento de cada pozo.

También se buscó identificar las condiciones operacionales de los sistemas estudiados. En el mismo orden de ideas, se recopilaron las características y especificaciones de mayor importancia para el estudio en lo que respecta a los pozos en cuestión.

### **3.4.2 Identificación de las Fallas de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare**

El desarrollo de la etapa anterior fue de gran utilidad para la ejecución de esta etapa, debido a que se obtuvieron, de manera muy detallada, todas las fallas asociadas a los pozos. A partir de esto y como punto central en este objetivo, se procedió a determinar los problemas y fallas presentadas en cada pozo desde el momento de su activación, trayendo como consecuencia la parada inesperada del proceso de producción; todo esto se estudió a través de la adquisición de data contenida en aplicaciones corporativas como: el programa Copyr; Centinela en los módulos Pozo, Aico y Ofm, los cuales permiten visualizar y analizar cada falla presentada durante la vida útil de los pozos.

### **3.4.3 Análisis de la Causa-Raíz de las Fallas Recurrentes en los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare**

En este objetivo se buscó, de manera muy precisa y profunda, las causas que originan las fallas recurrentes de estos pozos; los mismos han presentado paradas inesperadas, trayendo como consecuencia la pérdida de producción y aumento de los gastos operacionales.

Por tal razón, se indagó de forma detallada y específica en los sistemas corporativos (Centinela y Copyr) para visualizar las fallas operacionales que han venido presentando los pozos CDM-91 y CDM-93, para poder determinar con la

mayor certeza posible las causas de las mismas, lo que dio como resultado mayor conocimiento, orientación y herramientas para obtener una mejor operatividad y productividad de cada pozo, que es el objetivo principal de la industria petrolera.

#### **3.4.4 Propuesta de Posibles Soluciones para la Minimización de las Fallas de los Pozos CDM-91 y CDM-93 de la Macolla Urimare**

En función de los objetivos anteriores, fue indispensable y necesario establecer propuestas que contribuyan con el mejoramiento de estos pozos, que con sólo seis meses de activación han presentado ciertas fallas; por tal razón, se obtuvieron las herramientas y procedimientos necesarios y adecuados para solucionar los problemas operacionales que han venido presentando dichos pozos, con el objeto de optimizar la producción y el proceso operativo.

### **3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Según lo establecido por Arias, F. (2006, p. 67) se conoce como técnica "...el procedimiento o forma particular de obtener datos o información". Para llevar a cabo esta investigación se utilizaron las siguientes técnicas para la recolección de datos:

**Análisis documental:** se efectuaron revisiones de la información documental disponible en distintos medios, tales como trabajos de investigación, libros, manuales, publicaciones, tesis de grado, consultas en línea internet y la red de PDVSA.

**Entrevistas informales:** se utilizaron como apoyo las entrevistas a ingenieros, operadores de pozo y de estaciones de flujo, personal del Departamento de Optimización de Producción, del Departamento del Operaciones del Dato y personal

técnico del Departamento de Instrumentación del Distrito Morichal, quienes proporcionaron toda la data necesaria para el desarrollo de la investigación.

**Observación directa:** se visitó el área de estudio donde se observaron y se detallaron los parámetros operacionales necesarios para el desarrollo de la investigación.

En relación a los instrumentos, Arias, F. (2006) expresa que se entiende por instrumento "...cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información" (p. 69). En este trabajo se emplearon los mencionados a continuación:

- a) **Sistema Corporativo Centinela (Centro de Información del Negocio Lagoven):** permite el control de las operaciones mediante el almacenamiento y uso de los parámetros referentes al comportamiento de los pozos, procesamiento y utilización del gas, contabilización de crudos y productos; además de mantener información actualizada de las instalaciones y equipos de las divisiones de Oriente y Occidente.
- b) **Copyr (Consultas de Operaciones de Perforación y Rehabilitación de Pozos):** es una herramienta que permite acceder a los datos almacenados en la base de datos del DIMS (Lanmark), mediante página web y consultas preestablecidas, de modo que el usuario a través de una gama de consultas de pozos y eventos disponga de una serie de reportes para evaluar las operaciones de éstos.

### 3.6 RECURSOS

**Recursos humanos:** para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo del personal que labora en la Gerencia de Producción de PDVSA-Morichal, con el personal que trabaja en el Centro Operativo Morichal, entre otros. Además, se dispuso del asesoramiento de profesores pertenecientes a la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

**Recursos materiales y tecnológicos:** en lo que a material y tecnología se refiere, se tuvo la ayuda por parte de la empresa PDVSA-Morichal, para la disposición de las computadoras, impresoras, hojas de papel, carpetas, entre otras. Además de hacer uso de Microsoft Office 2003®, Microsoft Office 2007®, e Internet.

**Recursos financieros:** la Gerencia de Producción de PDVSA, Distrito Morichal, asumió en su totalidad el financiamiento de gastos relacionados con la investigación, durante el tiempo de realización de la misma.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DE LA COMPLETACIÓN Y OPERATIVIDAD DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE**

A través de las tablas 4.1 y 4.2, que se muestran a continuación, se observan la completación inicial y actual del pozo CDM-91, respectivamente, donde se puede percibir la diferencia entre ambos diseños, que fueron propuestos y aplicados por el Departamento de Optimización. Se puede visualizar entre las diferencias de ambas completaciones que para la primera se tuvo una bomba Tierra Alta 130-1600 y para la completación actual tiene una bomba Baker 700-G-2300 siendo esta última de mayor potencial; con respecto al diámetro de las tuberías y cabillas, para la primera completación se tuvo tuberías de 4-1/2 pulg y cabillas de 1-1/8 pulg, mientras que para la completación actual tiene tuberías de 5-1/2 pulg y cabillas de 1-1/2 pulg, siendo estas últimas las acordes para obtener una mejor operatividad.

Además, se puede visualizar en base a los problemas operacionales (ruptura de cabillas, rupturas de correas, generación de alto torque, desgaste de elastómeros y daño de la bomba) presentados con la primera completación, que este diseño no fue el más adecuado, lo cual ha generado dificultades en la producción y el proceso operativo, ocasionando pérdidas de producción y gastos operacionales.

Es esta la razón por la cual, nace la necesidad de proponer un diseño de completación, tal como se muestra en la Tabla 4.2, que permita mejorar la operatividad y productividad del pozo, en base al sistema de subsuelo en general: bomba, diámetro de cabillas y tuberías.

**Tabla 4.1 Completación inicial del pozo CDM-91**

Cantidad	Descripción	Long. (pies)	Tope (pies)	Base (pies)
111	Tubos de 4-1/2 pulg; 12,75 # J-55	3.548	0	3.548
1	Botella 4 ½ pulg; x 5 ½ pulg.	1	3.548	3.549
1	Tubos de 5-1/2 pulg; 17 # J-55	32	3.549	3.581
1	<b>Estator Tierra Alta 130-1600</b>	36	3.581	3.617
1	Niple de paro de 5-1/2 pulg.	2	3.617	3.619
1	Botella 5 ½ pulg; x 4-½ pulg.	1	3.619	3.620
1	Ancla de torque de 9-5/8 pulg; x 4-1/2 pulg.	2	3.620	3.622
1	Niple perforado taponado de 4-1/2 pulg. x 10 pies	10	3.622	3.632
1	Barra pulida 1-1/2 pulg; x 36 pies	36	-5	31
1	Niple de cabillas de 1-1/8 pulg; x 4 pies grado K	4	31	35
118	Cabillas de 1-1/8 pulg; x 30 pies grado K	3.540	35	3.575
1	Niple de cabillas de 1-1/8 pulg; x 4 pies grado K	4	3.575	3.579
1	<b>Rotor Tierra Alta 130-1600</b>	37	3.579	3.616

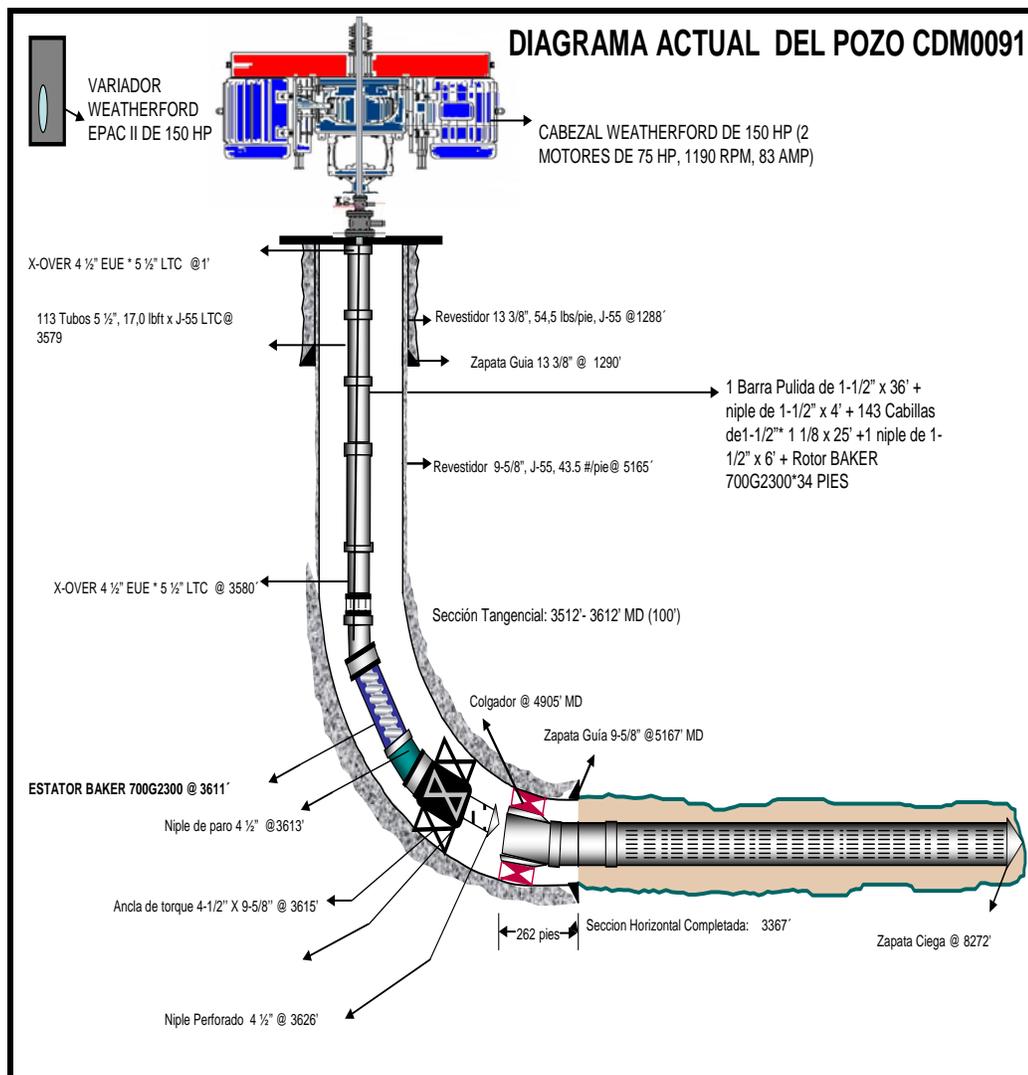
Fuente: Superintendencia de Optimización

**Tabla 4.2 Completación actual del pozo CDM-91**

Cantidad	Descripción	Long. (pies)	Tope (pies)	Base (pies)
1	X-over 4 ½ pulg; pasador x 51-1/2 pulg; LTC caja	1	0	1
113	Tubos de 5-1/2 pulg; 17 # J-55 LTC	3.576	1	3.577
1	X-over 4 ½ pulg; pasador* 51-1/2 pulg; LTC caja	1	3.577	3.578
1	<b>Bomba BAKER 700 G 2300</b>	33	3.578	3.611
1	Niple de paro de 4-1/2 pulg.	2	3.611	3.613
1	Ancla de torque de 9-5/8 pulg; x 4-1/2 pulg.	2	3.613	3.615
1	Niple perforado taponado de 4-1/2 pulg; x 10pies	10	3.615	3.625
1	Barra pulida 1-1/2 pulg; x 36 pies	36	-5	31
1	Niple de cabillas de 1-1/2 pulg; x 4 pies grado D	4	31	35
143	Cabillas de 1-1/2 pulg; x 1 pulg; x 25 pies grado D	3.535	35	3.570
1	Niple de cabillas de 1-1/2 pulg; x 6 pies grado D	6	3.570	3.576
1	<b>Rotor BAKER 700 G 2300</b>	34	3.576	3.610

Fuente: Superintendencia de Optimización

En la figura 4.1 se observa el diagrama mecánico actual del pozo CDM-91, con el propósito de ilustrar con mayor claridad el diseño de completación del mismo, con cabezal Weatherford de 150 HP, variador de frecuencia de 150 HP, bomba Baker 700-G-2300, cabillas de 1-1/2 pulg y tuberías de 5-1/2 pulg.



**Figura 4.1 Diagrama mecánico actual del pozo CDM-91**

**Fuente:** Superintendencia de Optimización

Las tablas 4.3 y 4.4 que se exponen a continuación, permiten apreciar la completación inicial y la actual del pozo CDM-93, respectivamente. A simple vista se observan las evidentes diferencias entre ambas completaciones, con respecto a la primera completación se tuvo una bomba Tierra Alta 130-1600, mientras que para la completación actual tiene una Weatherford 161-1600, esta última de mayor potencial; con respecto a los diámetros de las tuberías y cabillas, en la primera completación se tuvo tuberías de 4-1/2 pulg y cabillas 1-1/8 pulg, por su parte, para la completación actual se tiene tuberías de 5-1/2 pulg y cabillas de 1-1/2 pulg, siendo estas últimas las acordes para obtener una mejor operatividad y productividad.

Es evidente que el primer diseño no fue el más idóneo para el potencial que manejaría este pozo, tratándose de 1400 (BNPD), muestra de ello son los problemas operacionales observados al poco tiempo de haber sido puesto en producción, entre ellos pudiesen nombrarse: alto torque, desgaste del elastómero, rupturas de cabillas, rupturas de correas y bomba dañada. Es esta la razón por la cual se presentaron complicaciones en la operatividad y productividad del mismo. En vista de ello, fue necesario implementar un diseño de completación más eficiente y confiable, tal y como se puede visualizar en la tabla 4.4, el cual es capaz de mantener en óptimas condiciones el proceso operativo de este pozo, y así erradicar las pérdidas de producción y gastos originados por arreglos operacionales.

Por su parte, la figura 4.2 muestra el diagrama mecánico actual del pozo CDM-93, el cual está constituido por cabezal Weatherford de 150 HP, variador de frecuencia de 150 HP, bomba Weatherford 161-1600, cabillas de 1-1/2 pulg y tuberías de 5-1/2 pulg, siendo este diseño de completación, como se mencionó anteriormente, el más eficaz para garantizar y mantener en el tiempo una óptima operatividad y productividad de este pozo, trayendo excelentes resultados para la rentabilidad del negocio petrolero.

**Tabla 4.3 Completación inicial del pozo CDM-93**

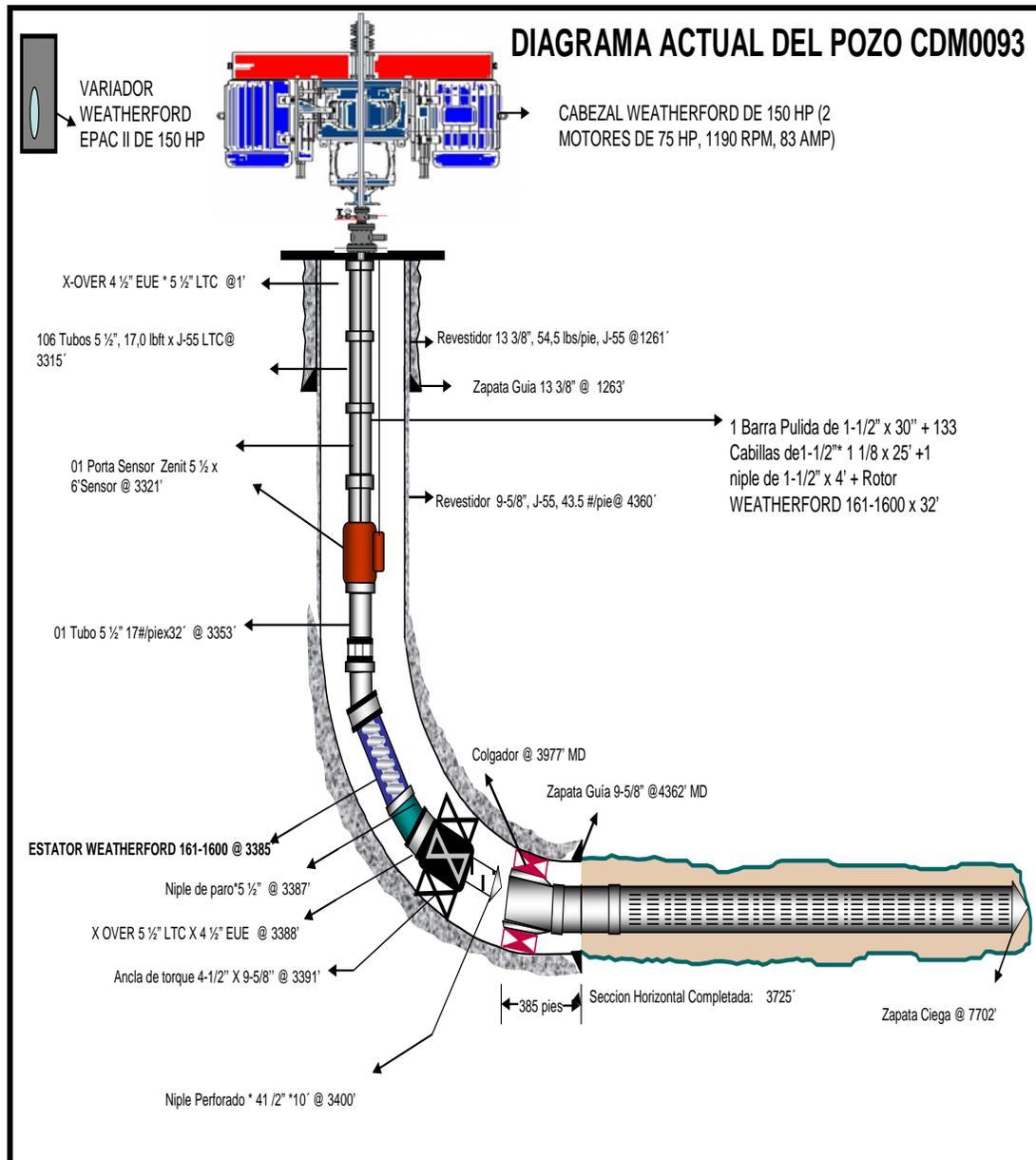
Cantidad	Descripción	Long. (pies)	Tope (pies)	Base (pies)
107	Tubos de 4-1/2 pulg; 12,75 # J-55	3.361	0	3.361
1	Botella 4-1/2 pulg; x 5 1/2 pulg.	1	3.361	3.362
1	Niple 5-1/2 pulg; 17 # J-55	10	3.362	3.372
1	<b>Estator Tierra Alta 130-1600</b>	39	3.372	3.411
1	Niple de paro de 4-1/2 pulg.	2	3.411	3.413
1	Ancla de torque de 9-5/8 pulg; x 4-1/2 pulg.	2	3.413	3.415
1	Niple perforado taponado de 4-1/2 pulg; x 10 pies	10	3.415	3.425
1	Barra pulida 1-1/2 pulg; x 36 pies	36	-6	30
2	Niples de 1-1/8 pulg; x 10 pies x 6 pies	16	30	46
111	Cabillas de 1-1/8 pulg; x 30 pies grado D	3.319	46	3.365
1	Niple de 1-1/4 pulg; con pasador 1-1/8 pulg; x 4 pies	4	3.365	3.369
1	<b>Rotor Tierra Alta 130-1600</b>	41	3.369	3.410

**Fuente: Superintendencia de Optimización**

**Tabla 4.4 Completación actual del pozo CDM-93**

Cantidad	Descripción	Long. (pies)	Tope (pies)	Base (pies)
1	X-Over 4-1/2 pulg; pasador x 5-1/2 pulg. LTC caja	1	0	1
106	Tuberías de 5-1/2 pulg; (J-55) 17# 8RD	3.316	0	3.316
1	Porta Sensor Zenith de 5-1/2 pulg.	6	3.316	3.322
1	Tubería de 5-1/2 pulg; (J-55) 17# 8RD 2 SC	32	3.322	3.354
1	<b>Estator Weatherford 161-1600</b>	33	3.354	3.387
1	Niple de paro 4-1/2 pulg.	2	3.387	3.389
1	Ancla de torque de 9-5/8 pulg; x 4-1/2 pulg.	2	3.389	3.391
1	Niple perforado taponado de 4-1/2 pulg; x 10 pies	10	3.391	3.401
1	Barra pulida 1-1/2 pulg; x 36 pies	30	-5	25
133	Cabillas de 1-1/2 pulg; x 25 pies grado D	3.325	25	3.350
1	Niple de cabilla 1-1/2 pulg; x 2 pies	4	3.350	3.354
1	<b>Rotor Tierra Alta 161-1600</b>	32	3.354	3.386

**Fuente: Superintendencia de Optimización**



**Figura 4.2 Diagrama mecánico actual del pozo CDM-93**

**Fuente:** Superintendencia de Optimización

#### **4.1.1 Parámetros Operacionales Recomendados para los Pozos CDM-91 y CDM-93**

En las tablas 4.5 y 4.6, que se presentan a continuación, se puede apreciar que los pozos CDM-91 y CDM-93 abarcan potenciales que van desde 1400 a 2000 BNPD, debiendo operar a una determinada velocidad de acuerdo al potencial que se maneja, el método de producción, entre otros factores; se pueden notar valores recomendados de operación entre 300 y 400 RPM.

Además, cada pozo debe manejar un valor de torque recomendado que depende principalmente del tipo de cabillas utilizadas; por ejemplo, para pozos con cabillas de 1-1/4 pulg de diámetro el valor de torque recomendado no debe exceder de los 2500 lb.pie; esto puede controlarse a través de los variadores, donde se configuran para que se maneje un torque máximo y así mantener la seguridad de las cabillas. Estos pozos en la actualidad están completados con cabillas de 1-1/2 pulg, que pueden soportar hasta 3750 lb.pie.

Resulta necesario mencionar también, que la inyección de diluyente a los pozos es uno de los factores fundamentales y necesarios para el buen desempeño y operatividad de los mismos, por tal motivo, es importante e indispensable manejar volúmenes recomendados que garanticen una operatividad óptima, estos son previamente estimados por el personal de optimización; para estos pozos (CDM-91 y CDM-93), los volúmenes de inyección oscilan entre 700 y 1000 BDPD, sin embargo, se debe tener vigilancia con respecto a los aromáticos, para así evitar daños en el elastómero; con respecto a la presión de cabezal recomendada, esta debe estar comprendida en medio de un rango de 140 a 150 lpca, buscando con ello garantizar el buen desempeño de ambos pozos.

- **POZO CDM-91**

**Tabla 4.5 Parámetros operacionales recomendados para el pozo  
CDM-91**

BOMBA	POTENCIAL (BNPD)	VELOCIDAD RECOMENDADA (RPM)	TORQUE MÁX. (lb-pie)	TIPO DE CABILLA (pulg)	DILUENTE RECOMENDADO (BDPD)	PRESIÓN DE CABEZAL (lpca)
TIERRA ALTA 130-1600	2000	340	1570	1-1/8	1000	140
WEATHERFOR D 161-1600	2000	300	2500	1-1/4	1000	140
BAKER 700-G- 2300	2000	350	3750	1-1/2	1000	140

**Fuente: Superintendencia de Optimización**

- **POZO CDM-93**

**Tabla 4.6 Parámetros operacionales recomendados para el pozo  
CDM-93**

BOMBA	POTENCIAL (BNPD)	VELOCIDAD RECOMENDADA (RPM)	TORQUE MÁX. (lb-pie)	TIPO DE CABILLA (pulg)	DILUENTE RECOMENDADO (BDPD)	PRESIÓN DE CABEZAL (lpca)
TIERRA ALTA 130-1600	1400	400	2500	1-1/4	700	150
WEATHERFOR D 161-1600	1400	350	3750	1-1/2	700	150

**Fuente: Superintendencia de Optimización**

#### 4.1.2 Valores Promedios de Operación de los Parámetros por Pozo

En la tabla 4.7 son representados los valores promedios de los parámetros de los pozos en estudio, observando que en los mismos, para la fecha de estudio, la mayor parte de los parámetros se encuentran en el valor recomendado de operación, a excepción del pozo CDM-93, donde su velocidad se encontró por debajo de la requerida; de igual forma, la inyección de diluyente está por encima de la inyección

recomendada, lo que podría haber sido ocasionado por problemas operacionales en dicho pozo, como: alto torque, fallas en las válvulas de control para la inyección de diluyente u otros factores asociados a la operatividad diaria. Los valores de presión de cabezal se mantuvieron dentro del rango recomendado de operación.

Todo lo anterior hace suponer que no se ha llevado un control y vigilancia constante de forma directa y real de cada parámetro en ambos pozos, trayendo como consecuencia las paradas y daños a los equipos tanto de superficie como de fondo, y por ende la pérdida de producción.

**Tabla 4.7 Valores promedios actuales de operación de pozos CDM-91 y CDM-93**

POZO	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (lb-pie)	CORRIENTE (A)	PRESIÓN DE CABEZAL (lpca)	DILUENTE (BDPD)
CDM-91	345	1806	147	152	985
CDM-93	270	1108	108	142	920

**Fuente: Superintendencia de Optimización**

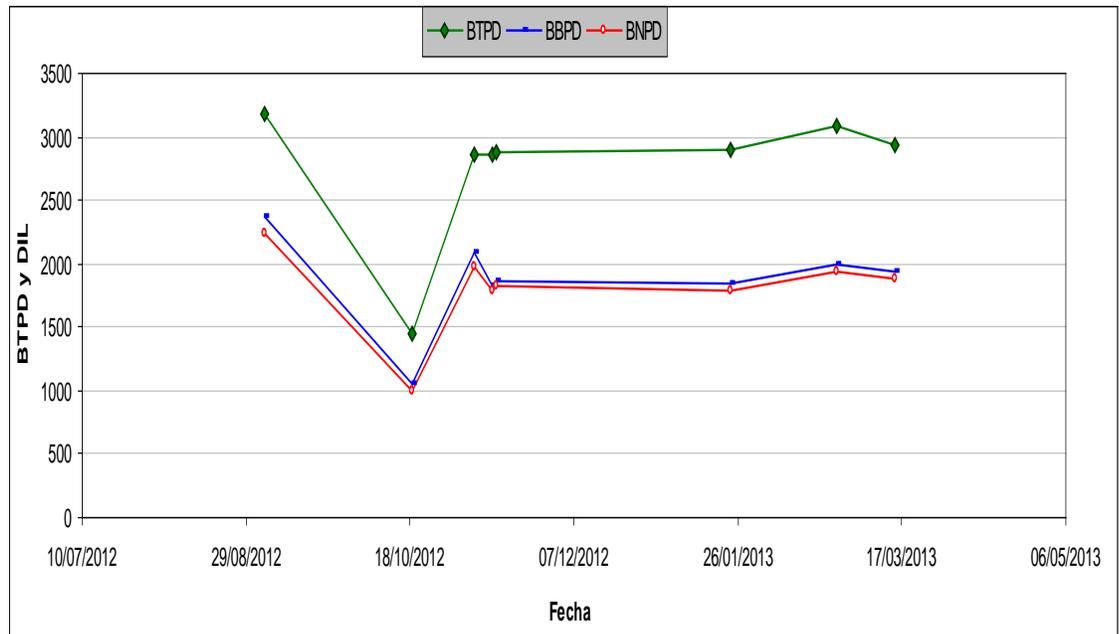
#### **4.1.3 Comportamiento de la Producción, Inyección de Diluyente y Velocidad vs el Tiempo de los Pozos CDM-91 y CDM-93**

Con el análisis del comportamiento de producción, inyección de diluyente y velocidad, se tuvo la oportunidad de ir abriendo paso a la visualización e identificación de las fallas que han generado las paradas inesperadas, pérdida de producción y gastos operacionales en ambos pozos.

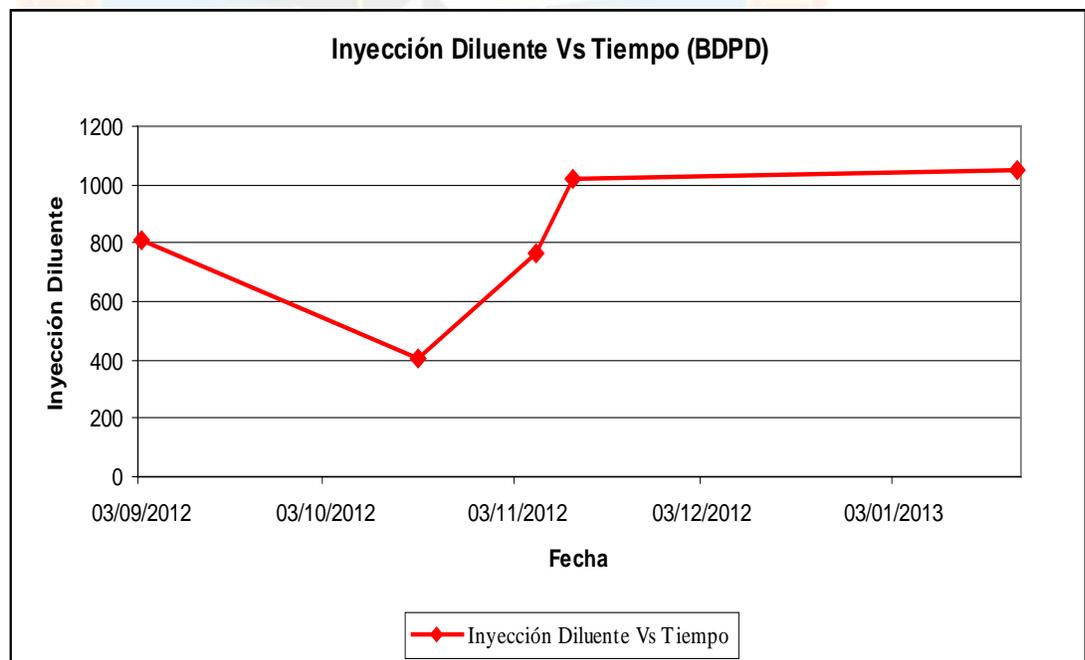
- **Pozo CDM-91**

Las gráficas 4.1, 4.2 y 4.3 muestran el comportamiento de la producción, diluyente y velocidad con respecto al tiempo; en el caso de la producción, para la fecha en la que se hizo el análisis se observó una tasa por encima de la recomendada, siendo esta de 2000 BNPD, se obtuvo un registro de 2230 BNPD para la fecha 29-08-2012. Con el transcurrir del tiempo, específicamente en medio del período 29-08-2012 al 18-10-2012, la producción disminuyó significativamente, ubicándose en 1000 BNPD, lo mismo sucedió para ese mismo período con la inyección de diluyente, la cual descendió de 800 BDPD a 400 BDPD. Para el caso de la velocidad, esta se mantuvo dentro de los rangos recomendados durante dicho período. Por tal sentido, se infiere que en este período, lo que afectó tan significativamente el proceso de producción fue el descenso de la inyección de diluyente.

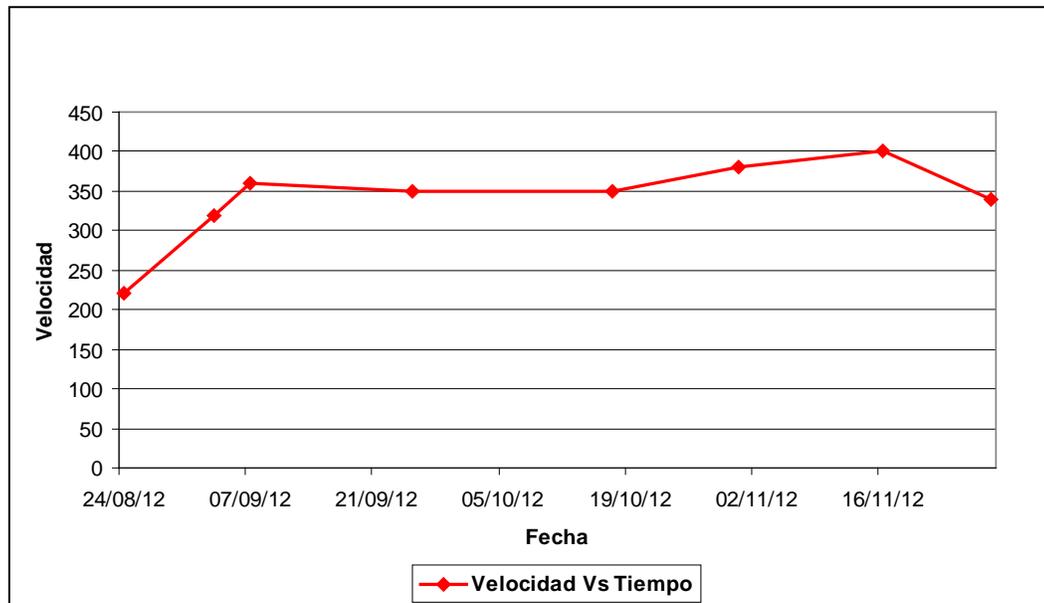
Sin embargo, en medio del período comprendido entre el 18-10-2012 y el 15-11-2012, la producción comenzó a aumentar apreciablemente, variando de 1000 BNPD a 2000 BNPD logrando así duplicar la producción. De igual forma, la inyección de diluyente aumentó de 400 BDPD a 600 BDPD, mientras que la velocidad también aumentó de 350 RPM a 400 RPM aproximadamente. Con toda esta información se llega a inferir que el crecimiento con respecto a la tasa de producción se debió indudablemente al aumento de la inyección de diluyente en este lapso de tiempo.



**Gráfica 4.1 Tasa de producción vs tiempo del pozo CDM-91**



**Gráfica 4.2 Tasa de inyección de diluyente vs tiempo pozo CDM-91**

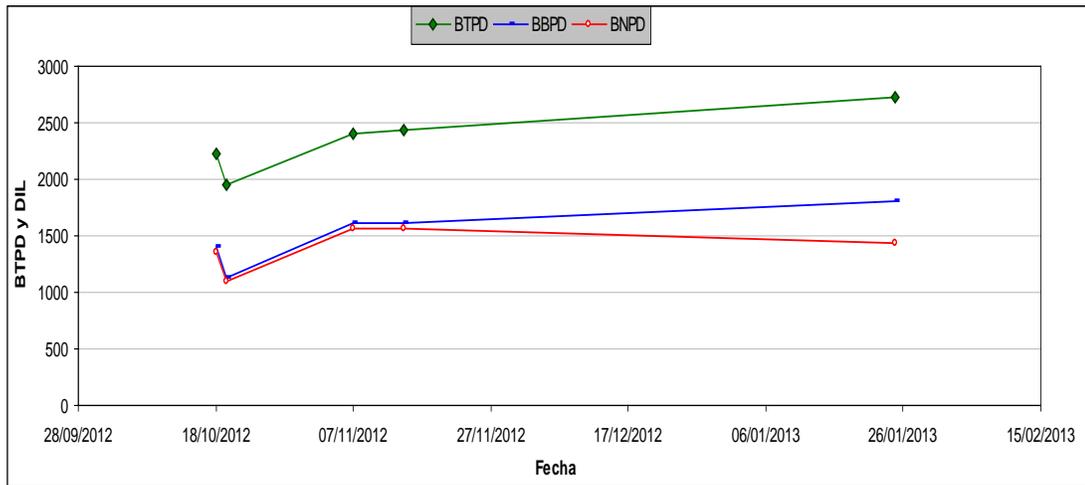


**Gráfica 4.3 Velocidad vs tiempo del pozo CDM-91**

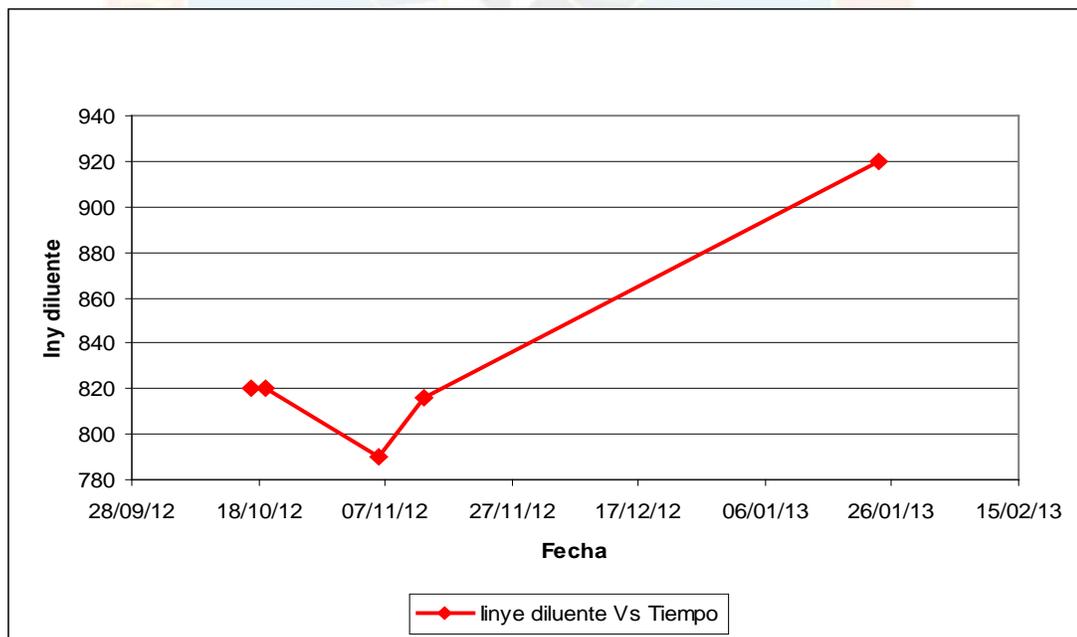
- **Pozo CDM-93**

Las graficas 4.4, 4.5 y 4.6, muestran el comportamiento de la producción, diluyente y velocidad con respecto al tiempo; en el caso de la producción, para la fecha en la que se hizo el análisis la tasa estuvo cercana a la recomendada, siendo esta de 1400 BNPD, se observó una caída de unos 400 BNPD en medio del período 18-10-2012 al 21-10-2012, para ese período la inyección de diluyente se mantuvo, en cuanto a la velocidad está vario de 250 RPM a 220 RPM. Por tal sentido, se supone que la pérdida de producción se presentó por problemas operacionales, posiblemente el alto torque que presento para esa fecha e igual la disminución de la velocidad. Luego de esta pérdida de producción, durante el período 21-10-2012 al 07-11-2012 la tasa aumento apreciablemente de 1100 BNPD a 1600 BNPD, a partir del período 07-11-2012 al 26-01-2013 la tasa se ha mantenido en parámetros recomendados, e igual se aumento la inyección de diluyente y la velocidad se mantuvo en rangos recomendados.

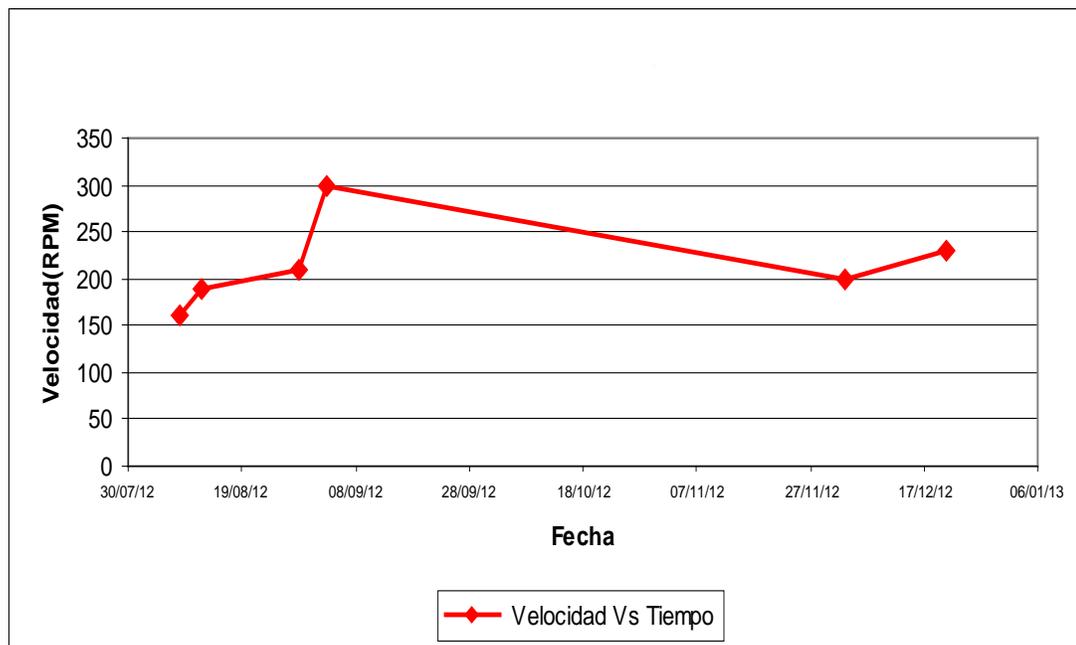
Toda la información antes planteada indica que el crecimiento de la inyección de diluyente contribuyó significativamente al aumento de la producción.



**Gráfica 4.4 Tasa de producción vs tiempo del pozo CDM-93**



**Gráfica 4.5 Inyección de diluyente vs tiempo del pozo CDM-93**



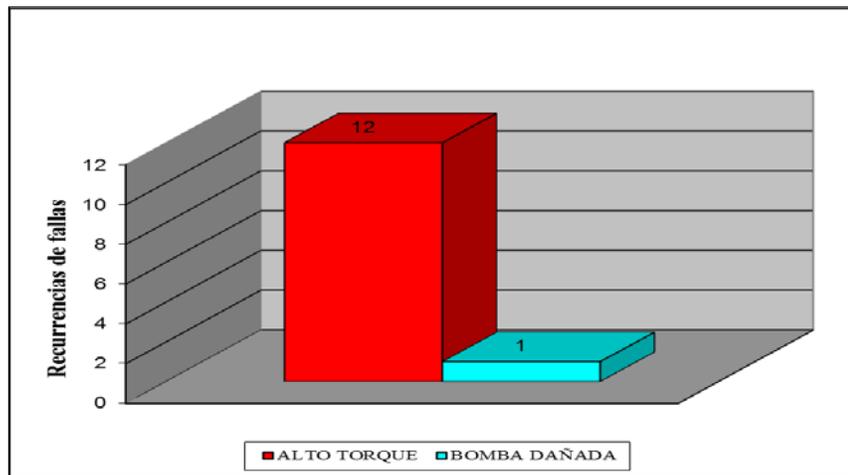
**Gráfica 4.6 Velocidad vs tiempo del pozo CDM-93**

## **4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE**

En este punto se identificaron todas las fallas presentadas en los pozos CDM-91 y CDM-93, tales como: alto torque, rupturas de cabillas, bomba de subsuelo dañada, entre otros factores asociados a los pozos, arrojando como resultado las paradas inesperadas y desviaciones de los parámetros operacionales y productividad de cada pozo. Estas fallas se visualizan con detalle a través de las siguientes gráficas.

### **• Pozo CDM-91**

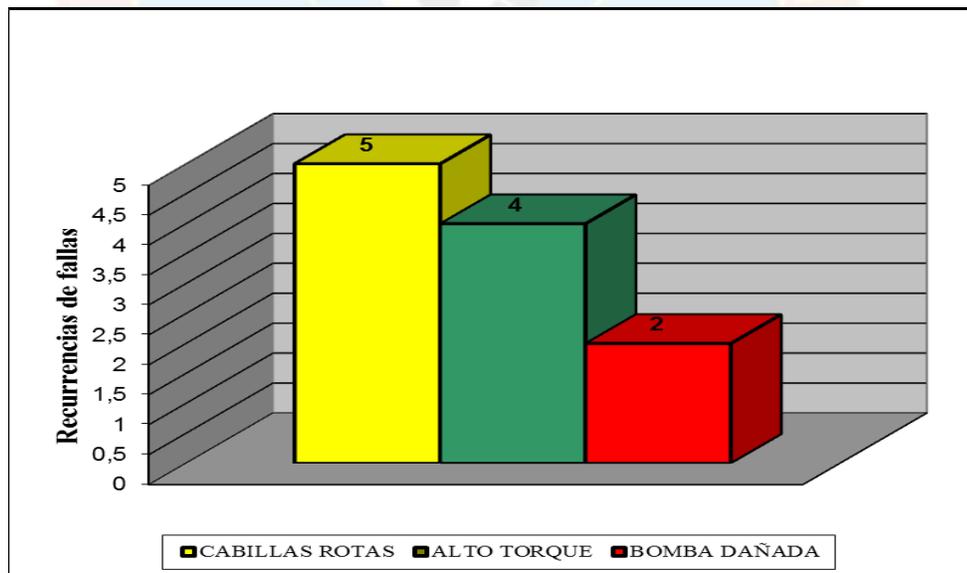
En la gráfica 4.7 se observan las fallas más frecuentes que ha venido presentando el pozo CDM-91 desde el momento de su activación, notándose en la misma que la falla predominante en este pozo son las cabillas rotas, seguido por el alto torque presentado y por bomba de subsuelo dañada, tres problemas que han generado pérdidas económicas considerables para la industria.



**Gráfica 4.7 Fallas del pozo CDM-91**

• **Pozo CDM-93**

En la gráfica 4.8 se perciben las fallas principales que han ocurrido en el pozo CDM-93, desde el momento de su activación, siendo notorio en primer lugar el alto torque, seguido con bomba de subsuelo dañada.



**Gráfica 4.8 Fallas del pozo CDM-93**

### 4.3 ANÁLISIS DE LA CAUSA-RAÍZ DE LAS FALLAS RECURRENTE EN LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE

En este objetivo se analizaron las fallas recurrentes presentadas en los pozos en estudio, desde su puesta en operación, donde se pudieron visualizar las causas que predominan y generan las constantes fallas, y al mismo tiempo producen inconvenientes en la operatividad y productividad de cada pozo. En los pozos que se tomaron para el estudio se pudieron notar fallas recurrentes presentes en períodos cortos, obligando al personal encargado a realizar diferentes estudios y análisis para determinar las causas que las originaron; a continuación, en las tablas 4.8 y 4.9 se exhiben las fallas representativas que ocurrieron en los pozos CDM-91 y CDM-93, respectivamente, durante el periodo de estudio.

**Tabla 4.8 Fallas más recurrentes en el pozo CDM-91**

Pozo	Fechas	Eventos	Observaciones y/o Causas
CDM-91	15/08/12	Cabillas partidas de 1 1/8 pulg	Se presentaron colapsos debido a que el diámetro de las mismas no fue el adecuado para su funcionamiento. Esto ocurrió por el mal diseño de completación aplicado.
	03/09/12 10/09/12 14/09/12 24/09/12 26/09/12	Cabillas partidas de 1 1/4 pulg	Para estas fechas el pozo en estudio quedaba inoperativo por rupturas de cabillas con cuello quemado, donde se realizó prueba de retorno sin éxito; se hizo cambio de bomba por una de mayor potencial; pero se dejaron las mismas cabillas y tuberías, generando grandes pérdidas de producción
	07/09/12 15/09/12 23/09/12	Alto torque	Una de las causas principales de esta falla fue el mal diseño de completación, teniendo cabillas y tuberías de diámetros pequeños, restringiendo el flujo de fondo a superficie, además la excesiva inyección de diluyente a fondo que generó el daño al elastómero
	29/07/12 24/09/12 12/10/12	Bomba dañada	Cada una de estas fechas corresponde a una bomba distinta del pozo en estudio, debido a no haber seleccionado un buen elastómero, bomba para poco potencial respecto al que producía el pozo, velocidad excesiva y la inyección de diluyente a fondo sin control, lo que generó hinchamiento del elastómero y por ende mayor fricción entre rotor y estator.

**Tabla 4.9 Fallas más recurrentes en el pozo CDM-93**

Pozo	Fechas	Eventos	Observaciones y/o Causas
CDM-93	03/12/112	Bomba dañada	Este pozo sólo ha tenido un cambio de bombas, una de las causas principales fue la inyección de diluyente a fondo sin control, lo que generó desgarramiento en el elastómero, ocasionando mayor fricción, por ende disminución del tiempo de vida útil de la bomba (del 29-07-12 al 03-12-12).
	10/08/2012 29/08/2012 15/10/2012 19/10/2012 30/11/2012	Alto torque	El pozo en estudio tuvo continuas fallas por el alto torque, una de las causas que lo produjo fue no tener un diseño de tubería y cabilla adecuado, a esto se suma la mala práctica de inyección de diluyente a fondo, que genera la fricción entre rotor y estator ocasionando el alto torque y no tener un variador de frecuencia que cumpla con las especificaciones del pozo.

#### **4.4 PROPUESTA DE POSIBLES SOLUCIONES PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS FALLAS DE LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE**

En este objetivo se plantean las posibles soluciones para minimizar en profundidad las fallas recurrentes que vinieron presentando los pozos CDM-91 y CDM-93, de tal manera de evitar o prevenir que las mismas se presenten en futuros pozos.

#### 4.4.1 Selección del Mejor Diseño de Completación de Cada Pozo

Es esencial seleccionar un diseño que garantice la eficiencia y buena operatividad de los pozos, así se tendrá un sistema mucho más confiable y efectivo para obtener la productividad deseada y por ende mayor ganancial para la industria, por tal razón, la importancia de un estudio y análisis a profundidad para seleccionar un diseño de completación con tecnología de punta, con estándares de eficiencia para la optimización de la operatividad. Para garantizar el buen funcionamiento es necesario hacer la selección de una bomba de mayor capacidad, tomando en cuenta el potencial del pozo, cabillas de mayor diámetro que soporten altos torques, para este caso serían necesarias cabillas de 1- ½ pulg; tuberías con mayores diámetros que no restrinjan el fluido, como por ejemplo de 5-½ pulg y un elastómero de mejor calidad, con un material que resista los componentes del crudo y los altos volúmenes de diluyente que se inyectan en fondo, tres elementos importantes para el buen desempeño de estos pozos.

Para los pozos futuros, todos estos componentes deben tener compatibilidad con las características físico químicas del fluido, esto con el fin de lograr la optimización total de las operaciones en todos sus niveles, por tal motivo es imprescindible desde todo punto de vista asegurarse de la buena instalación de estas herramientas en cada pozo.

Es necesario señalar que para los pozos en estudio el potencial estimado fue la mitad, aproximadamente, del que arrojaron en el momento de su activación, lo que ocasionó diversos problemas operacionales, que obligaron a rediseñar la completación, haciendo diferentes cambios de bombas para ambos pozos en lapsos muy cortos, para poder cumplir con el potencial que demandaron los mismos y obtener la producción esperada. Por esto, es vital el compromiso que debe asumir el Departamento de Planes y Reservas, de tal manera que se haga una estimación del

potencial más real, confiable, y con mayor profundidad, para así evitar todos los inconvenientes operacionales que esto trae como consecuencia, perdiendo productividad y grandes sumas de dinero en el negocio petrolero.

La tabla 4.10 muestra la diferencia entre tres completaciones que ha tenido el pozo CDM-91, desde el momento de su activación, lo cual se logró a través del simulador PC-PUMP; en la primera completación tuvo una bomba Tierra Alta 130-1600, con tubería de 4-1/2 pulg y cabillas de 1-1/8 pulg, para manejar un potencial de 2000 BPD, con una velocidad de 325 RPM, lo que trajo ciertas complicaciones en la operatividad, a esto se suma la tubería cuyo diámetro era muy pequeño para manejar el potencial, lo que ocasionó restricción para llevar el crudo desde el fondo hasta superficie, por esto se originó una presión de descarga superior a las demás completaciones, y se generó mayor torque, superando al que podían soportar las cabillas implementadas, cuyo valor es de 1570 lb.pie.

Se puede notar el límite de deformación en las cabillas por encima de lo que pueden soportar, lo cual se percibe mejor en la figura A.2 del apéndice A; todos estos parámetros anormales acortaron la vida útil de la bomba, al igual que ocasionaron recurrentes paradas por alto torque, rupturas de cabillas, generando grandes pérdidas de producción para la industria, por esto la necesidad de proponer una completación más óptima y que pueda cumplir con las especificaciones que demanda el pozo en estudio y los futuros pozos a completar en la extensa área de La Faja Petrolífera del Orinoco.

En este caso fue necesario cambiar la completación del pozo con una bomba de mayor potencial, tuberías y cabillas de mayor diámetro, para garantizar la optimización de la operatividad y productividad, siendo esto ejecutado por el personal del Departamento de Optimización, colocando una bomba de mayor potencial (Weatherford 161-1600), con cabillas de 1-1/4 pulg, dejando la misma tubería de 4-

1/2 pulg, siendo esto un mal procedimiento y grave error para esta completación, ya que se había instalado una bomba de mayor caudal, y éste se veía restringido por la tubería para manejar el potencial del pozo desde el fondo hacia superficie, lo cual ocasionó daños a los equipos y a la operación del pozo.

**Tabla 4.10 Comparación de las completaciones del pozo CDM-91, mediante simulaciones**

<b>Configuración</b>	<b>Bomba Tierra Alta 130-1600, tubería de 4 1/2 pulg, cabillas de 1 1/8 pulg</b>	<b>Bomba Weatherford 161-1600, tubería de 4 1/2 pulg, cabillas 1 1/4 pulg</b>	<b>Bomba Baker 700G2300, tubería 5 1/2 pulg, cabillas 1 1/2 pulg</b>
Potencial (BPD)	2000	2000	2000
Velocidad estimada (RPM)	325	244	342
Torque máx. (lb.pie)	2489,1	2175,8	1909,4
Presión de descarga (lpca)	3068	2235	2248
Porcentaje de presión de carga (%)	109	75	74
Máxima carga axial (klb)	45,3	45,1	36,5
Esfuerzo efectivo max. en las cabillas (%)	164,5	85,7	74,5
Tiempo de vida útil del pozo (años)	0,7	1	1,5

A partir de lo anterior nació la necesidad de cambiar la tubería de 4-1/2 pulg por una de 5-1/2 pulg, y las cabillas de 1-1/4 pulg a 1-1/2 pulg; en la tabla 4.10, se puede notar a través de la simulación realizada, la cual se puede visualizar mejor en el apéndice A (figura A.3), que los parámetros mejoraron de forma muy significativa, tanto en velocidad, torque, porcentaje de presión de carga, presión de descarga y efectividad de las cabillas, pero por disponibilidad de materiales e insumos, en el

momento de hacer el cambio, la bomba Weatherford 161-1600 no pudo ser instalada, porque no se contaba con ella, y para no seguir perdiendo producción se instaló la que había en existencia en ese momento, que fue una bomba de menor potencial, pero que manejaría rangos de operación iguales o superiores que la anterior.

La bomba instalada fue la Baker 700-G-2300; se puede visualizar en la tabla 4.10 y en la simulación realizada (figura A.5 del apéndice A) cómo mejoraron casi todos los parámetros, con excepción de la velocidad que fue mayor que las otras dos (2) completaciones simuladas, lo cual se debió a la condición de la bomba, que por ser de potencial inferior al del pozo, se tomó la decisión de aumentar la velocidad para poder extraer el crudo que demanda el mismo, esta propuesta de completación fue ejecutada y en la actualidad se encuentra funcionando con parámetros y productividad óptimos y rentables económicamente.

Por su parte, en la tabla 4.11 se observa la diferencia del comportamiento de los parámetros entre dos completaciones que ha tenido el pozo CDM-93, desde el momento de su puesta en operación, lo cual fue realizado mediante el simulador PC-PUMP (las simulaciones se pueden ver en las figuras B.1 y B.3 del apéndice B); en la primera completación tuvo una bomba Tierra Alta 130-1600, con tubería de 4-1/4 pulg y cabillas de 1-1/4 pulg, para manejar un potencial de 1400 BPD, completación que trajo pésimos resultados en la operatividad del pozo, uno de los factores fue la tubería de 4-1/2 pulg, muy pequeña para manejar el potencial del pozo..

El análisis anterior indica que existe mejor resultado de operación para la segunda completación; con respecto al esfuerzo de las cabillas, se puede visualizar en las figuras B.2 y B.4 del apéndice B el límite de deformación de las cabillas de 1-1/4 pulg y 1-1/2 pulg, respectivamente, notándose el intervalo que separa el torque de operación con respecto a la deformación de las cabillas, pero es evidente que para la primera completación el esfuerzo de las cabillas está más cerca de sufrir rupturas, en

comparación a la segunda, que se encuentra con rangos aceptables; por esta razón fue necesario proponer una nueva completación que garantizara mejor operatividad, la cual fue considerada y aplicada por el personal de Optimización, efectuándose cambio de tubería de 4-1/2 pulg a 5-1/2 pulg, cabillas de 1-1/4 pulg a 1-1/2 pulg y una bomba Weatherford 161-1600, que a pesar de que manejaba menor potencial que la primera no generó mayor torque, debido a la velocidad con que opera, en la actualidad se encuentra trabajando en óptimas condiciones.

**Tabla 4.11 Comparación de las completaciones del pozo CDM-93, mediante simulaciones**

<b>Configuración</b>	<b>Bomba Tierra Alta 130-1600, tubería 4 1/2 pulg, cabillas 1 ¼ pulg</b>	<b>Bomba Weatherford 161-1600, tubería 5 ½ pulg, cabillas 1 ½ pulg</b>
Potencial (BPD)	1400	1400
Velocidad estimada (RPM)	313	202
Torque máx. (lb.pie)	1578,8	1470,8
Presión de descarga (lpca)	2068	1706
Porcentaje de presión de carga (%)	50	35
Máxima carga axial (klb)	26,1	28,7
Esfuerzo efectivo max. en las cabillas (%)	103,7	57,5
Tiempo de vida útil del pozo (años)	4,9	5,5

#### 4.4.2 Inspección y Verificación del Material a Utilizar en la Completación

Es de suma importancia hacer la inspección y verificación del material y equipos antes de ser utilizados en el proceso de operación y producción de cada pozo, garantizando así un proceso confiable y duradero en el tiempo, para obtener el mayor beneficio con respecto a la operatividad y productividad de los pozos. Una tarea de gran impacto e importancia la tiene el Instituto Tecnológico Venezolano de Petróleo (INTEVEP), que debe asegurar de manera eficiente y confiable los diferentes estudios y análisis físico-químicos que se le realizan al crudo en la Faja Petrolífera del Orinoco, específicamente en el área de extrapesado. Los físicos son: temperatura,

velocidad, presión y abrasión y los químicos son: H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y crudos aromáticos; por todo esto deben proveer resultados fidedignos que se acerquen a la realidad, de tal forma que el personal de Optimización pueda elegir con criterio técnico el elastómero más idóneo, para trabajar en crudos del área en estudio, ya que se presume que el utilizado hasta este momento (nitrilo) no ha sido el más adecuado para el buen desempeño de los pozos.

Con respecto a la inspección y selección de las cabillas, es importante definir ciertos pasos para garantizar que las mismas sean las acordes, si no se estará incurriendo de manera repetida en paradas por rupturas de éstas; dichos pasos son los siguientes:

- 1) **Diámetro de las cabillas:** es fundamental para el buen desempeño seleccionar un diámetro que tenga la capacidad para manejar altos torques, por ejemplo, uno de los diámetros de mayor resistencia es el de 1-1/2 pulg, siendo el adecuado para trabajar en pozos con crudos de viscosidades altas, como los que se encuentran en la Faja Petrolífera del Orinoco, en tal sentido, viendo la experiencia vivida con los pozos en estudio, es necesario implementar en los pozos futuros este tipo de cabillas y evitar las paradas inesperadas.
- 2) **Diámetro del pasador (pin) de cabilla:** cumple un rol importante para la óptima operación de todo el sistema de cabillas, puesto que su diámetro garantiza un buen funcionamiento y mayor resistencia al torque; está relacionado con el cuello de la cabilla, el cual debe tener un buen acople que garantice el sello metal-metal, por eso la compatibilidad es la clave para obtener resultados de operatividad positivos.
- 3) **Materiales:** para garantizar que los materiales que se solicitan para la completación del pozo, sean los acordados y requeridos para una buena operatividad de éste, es necesario que la filial de Petróleos de Venezuela (PDVSA), llamada Bariven, cumpla a cabalidad su función, la cual es la

adquisición de materiales y equipos necesarios para las actividades de exploración y producción; en tal sentido, tiene la responsabilidad de verificar todo lo que entra al almacén o depósito, con el fin de garantizar que el material y los equipos que está recibiendo sean los correctos para los pozos, lo que se hace a través de los certificados de calidad y especificaciones del proveedor, aquí se debe realizar una revisión rigurosa y profunda para constatar si todo lo que ha llegado cumple con las especificaciones solicitadas por la empresa, en este caso PDVSA.

#### **4.4.3 Procedimiento Adecuado para la Bajada de Cabillas**

Un procedimiento adecuado constituye una técnica muy importante para el buen funcionamiento y operatividad, después de estar completado el pozo; en tal sentido, se puede proponer la bajada de las cabillas con un seguimiento detallado, y técnica, siguiendo ciertos pasos que garantizan la optimización del proceso.

Las cabillas nuevas o usadas que se dispongan para ser utilizadas en los pozos deben cumplir con ciertas características con respecto a su mantenimiento, donde es necesario realizar una correcta limpieza de las superficies a unir, de manera de obtener un torque óptimo de la unión; el personal de Bariven, en conjunto con los operadores, son responsables de verificar y garantizar el cumplimiento del siguiente procedimiento:

- 1) Las cabillas nuevas contienen grasa de almacenamiento en las roscas o cuellos, la cual debe ser quitada en su totalidad, para esto es necesario utilizar cepillo de alambre y un solvente biodegradable que permita eliminarla por completo así como otras impurezas asociadas, luego se deberán secar los extremos, soplando con aire a presión hasta conseguir que seque totalmente, esto ayudará de forma significativa a la unión metal-metal entre las roscas y cuellos de las cabillas.



**Figura 4.3 Rosca con grasa y sin grasa, respectivamente**

- 2) Al momento de la bajada se debe manejar un torque adecuado en el enrosque cabilla con cabilla, las cuales tienen un valor único estandarizado para cada una de ellas, 1-1/8pulg, 1-1/4 pulg y 1-1/2 pulg, el torque de apriete es 1200 lb.pie; una vez que las cabillas estén en forma vertical y alineadas en la boca del pozo, se dejan descender sobre el cuello, se hará el enroscado a mano, luego es necesario utilizar la llave hidráulica de enrosque, efectuando el apretado de las cabillas de forma lenta y progresiva, manteniendo el objetivo de dar un valor prácticamente nulo de tensión sin forzar el enrosque, ya que si ésta es sobrepasada, se generarían valores de torques superiores a los establecidos.

Todos estos parámetros se deben seguir al pie de la letra para asegurar que las cabillas cuando estén operando no se fatiguen ni se rompan por el exceso de torque aplicado en la bajada, más el que se generará en el pozo. Para garantizar que el torque sea el correcto y no se sobrepase el establecido, es imprescindible utilizar la plantilla de control del mismo, que es un procedimiento que no se debe dejar de hacer y que significa mucho para la durabilidad de las cabillas en el proceso de operación.

3) Para reutilizar cabillas usadas es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No es aconsejable el enderezado o la eliminación de escamas de cabillas sin una previa inspección.
- Las cabillas deben sumergirse en un solvente caliente para remover los hidrocarburos y las escamas adheridas.
- Las cabillas severamente dobladas, gastadas o golpeadas deben descartarse.



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- La completación inicial de estos pozos no fue la más adecuada para obtener una buena operatividad y productividad, la cual garantizara la rentabilidad económica de la industria.
- Al comparar los valores recomendados de velocidad, torque, presión de cabezal y amperaje de cada pozo y los valores promedios de los mismos, no se vio mayor variación entre ambos, excepto en la velocidad e inyección de diluyente del pozo CDM-93, que si mostró diferencias entre los valores.
- Las fallas más recurrentes presentadas en ambos pozos fueron: alto torque, rupturas de cabillas y bombas dañadas.
- Para pozos de alto potencial, es indispensable tener cabillas y tuberías de mayor diámetro y fundamentalmente una bomba de mayor caudal que garantice extraer mayor crudo.
- La inyección en exceso de diluyente en fondo es uno de los causantes del hinchamiento y desgarramiento del elastómero, y al mismo tiempo ocasiona daños a la bomba y el alto torque en los pozos.
- La simulación realizada con PC-PUMP, ayudó a visualizar la comparación entre las completaciones hechas a cada pozo, y así constatar cuál es la más eficiente y efectiva.
- Es indispensable hacer una buena selección de los materiales y equipos a utilizar en los pozos, y así garantizar en los mismos su mejor eficiencia operativa.

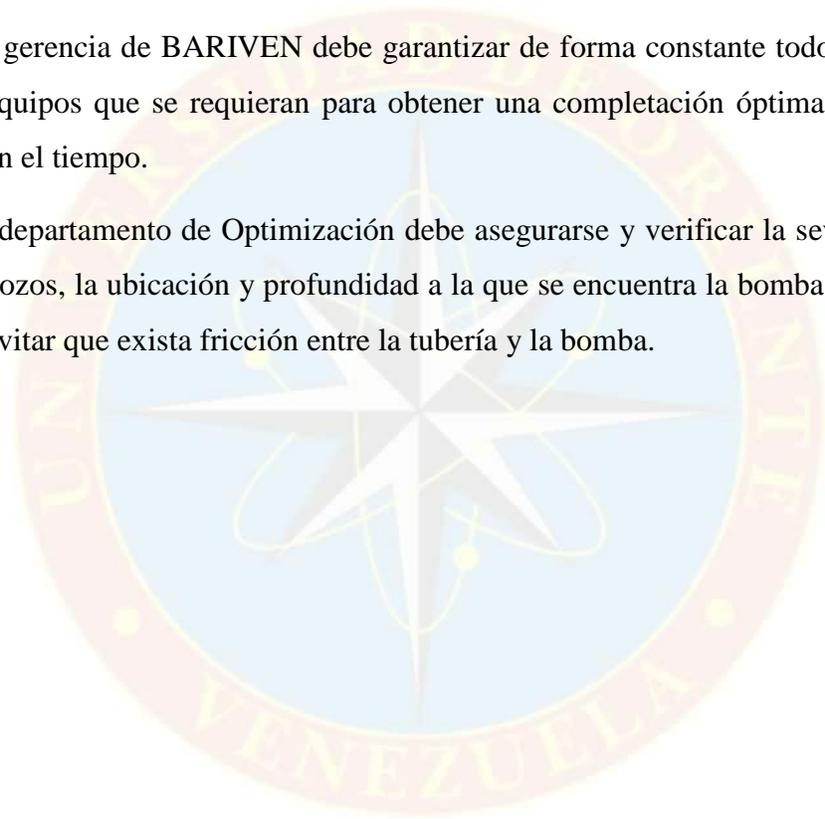
- El procedimiento de la bajada de cabillas se debe hacer cuidadosamente y con estricta vigilancia, dándole un torque adecuado a las mismas, para que no se generen altas tensiones, garantizando así la durabilidad de las cabillas en el tiempo.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- El Departamento de Planes y Reservas, debe hacer y/o revisar el cálculo del potencial del pozo, para garantizar que el personal de Optimización seleccione un mejor y eficiente diseño de la completación del mismo
- El personal del Instituto Tecnológico Venezolano de Petróleo (INTEVEP), debe realizar un estudio detallado con respecto a las características físico-químicas del crudo, para así tener la seguridad de hacer la selección del elastómero correcto para los pozos futuros.
- Es fundamental tener de manera precisa o cercana a lo real el potencial del pozo, para seleccionar la completación más adecuada, en el caso de los pozos en estudio colocar cabillas de 1 1/2 pulg, tuberías de 5 1/2 pulg y bombas de mayor caudal, para garantizar la optimización de los mismos.
- No se debe utilizar gasoil (diesel) como solvente para eliminar la grasa contenida en las roscas de las cabillas nuevas, ya que el mismo deja una película oleosa y no permite el sello metal-metal.
- No es seguro ni confiable reutilizar las cabillas y tuberías de producción luego de haberlas sacado de operación, ya que no garantizan una buena operatividad ni durabilidad en el tiempo de producción.
- Realizar con profundidad y eficiencia la actualización del programa corporativo (Centinela) en la carpeta Pozo, e igualmente el programa corporativo (Copyr),

para tener un control más confiable del comportamiento de las variables operacionales de los pozos durante el tiempo de operatividad.

- Los operadores encargados de los pozos en estudio, deben aplicar la inyección de diluyente en fondo con más control, sin sobre pasar lo recomendado establecido por optimización, para garantizar la durabilidad y eficiencia del elastómero.
- La gerencia de BARIVEN debe garantizar de forma constante todo el material y equipos que se requieran para obtener una completación óptima y sustentable en el tiempo.
- El departamento de Optimización debe asegurarse y verificar la severidad en los pozos, la ubicación y profundidad a la que se encuentra la bomba, buscando así evitar que exista fricción entre la tubería y la bomba.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, F. (2006). El proyecto de investigación, Editorial Episteme, (5ta.Edición). Caracas: Venezuela.

ÁNGULO, Y. (2007). “Determinación del tiempo promedio de vida para equipos de levantamiento artificial utilizados en el Distrito Social Morichal a través de indicadores de confiabilidad”. Estado Monagas. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Maturín.

BRITO, A.; RUIZ, R. (2008). Evaluación del desempeño de modelos en estado estacionario para determinar gradientes de presión en tuberías horizontales con crudos altamente viscosos. PDVSA, INTEVEP, Los Teques.

CASTILLO, M. (2001). Manual de equipos de superficie. PDVSA. Exploración y Producción. San Tomé.

CHACÍN, N. (2003) “Bombeo de Cavidad Progresiva, Operaciones, Diagnóstico, Análisis de Falla y Trouble Shooting” Manual para operadores Esp Oil. El Tigre, Venezuela.

CHACÍN, N. (2004) “Bombeo de cavidad progresiva – BCP” Manual para operadores, Esp Oil International, El Tigre, Estado Anzoátegui.

GONZÁLEZ, A. (2012) “Propuesta de mejoras técnicas al sistema de inyección de diluyente en fondo en los pozos del área extrapesado del Distrito Morichal, División Carabobo”. Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

MENESES, L. (2010). “Propuesta de un sistema de tratamiento para los efluentes de producción generados en el Centro Operativo Morichal de PDVSA.” Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

OJEDA, G. (2010) “Optimización de la inyección de diluyente en los pozos con BM, BCP y BES del campo Cerro Negro, Área Extrapesado - Distrito Morichal” Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

PDVSA. (2012). Gerencia del Dato Distrito Morichal.

PDVSA (2001). “Equipos de superficie”. Manual de ingeniería. PDVSA- Departamento de Optimización del Distrito Morichal. División Carabobo.

PDVSA (2004). “Equipos de subsuelo” Manual de Bombeo de Cavidad Progresiva-(BCP) Esp Oli. PDVSA- Departamento de Optimización del Distrito Morichal. División Carabobo.

QUIJADA, M. (2006) “Inyección de Diluyente en Fondo para Pozos BCP”. PDVSA E y P, División Oriente.

RADIO NACIONAL DE VENEZUELA (2009), [Página Web] Disponible en: <http://www.rnv.gov.ve/noticias/?act=ST&f=4&t=104217>

## APÉNDICES





**APÉNDICE A**

**Datos del pozo CDM-91 (Simulaciones de las  
completaciones hechas al pozo y límites de  
deformación de las cabillas)**

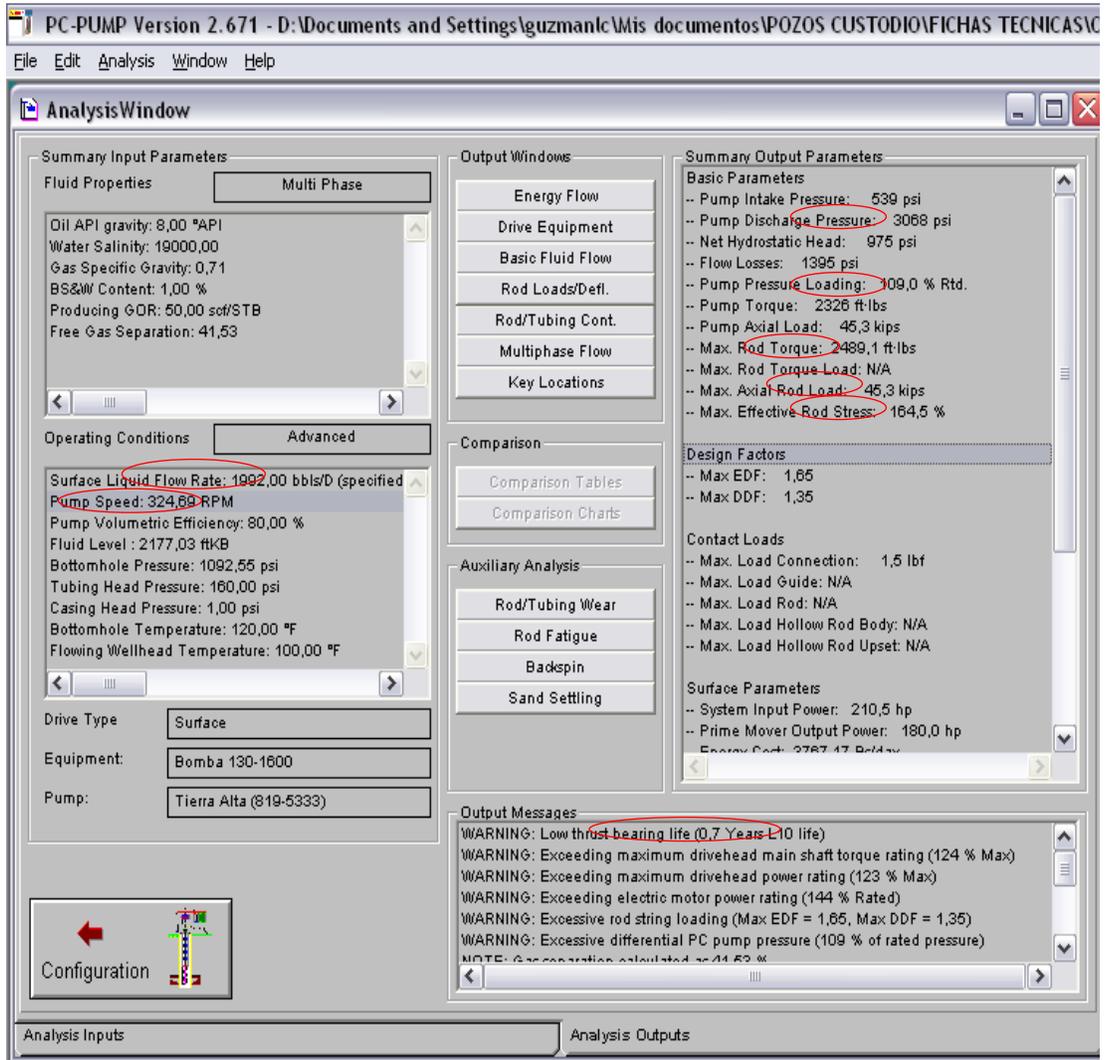


Figura A.1 Simulación de la primera completación del pozo CDM-91

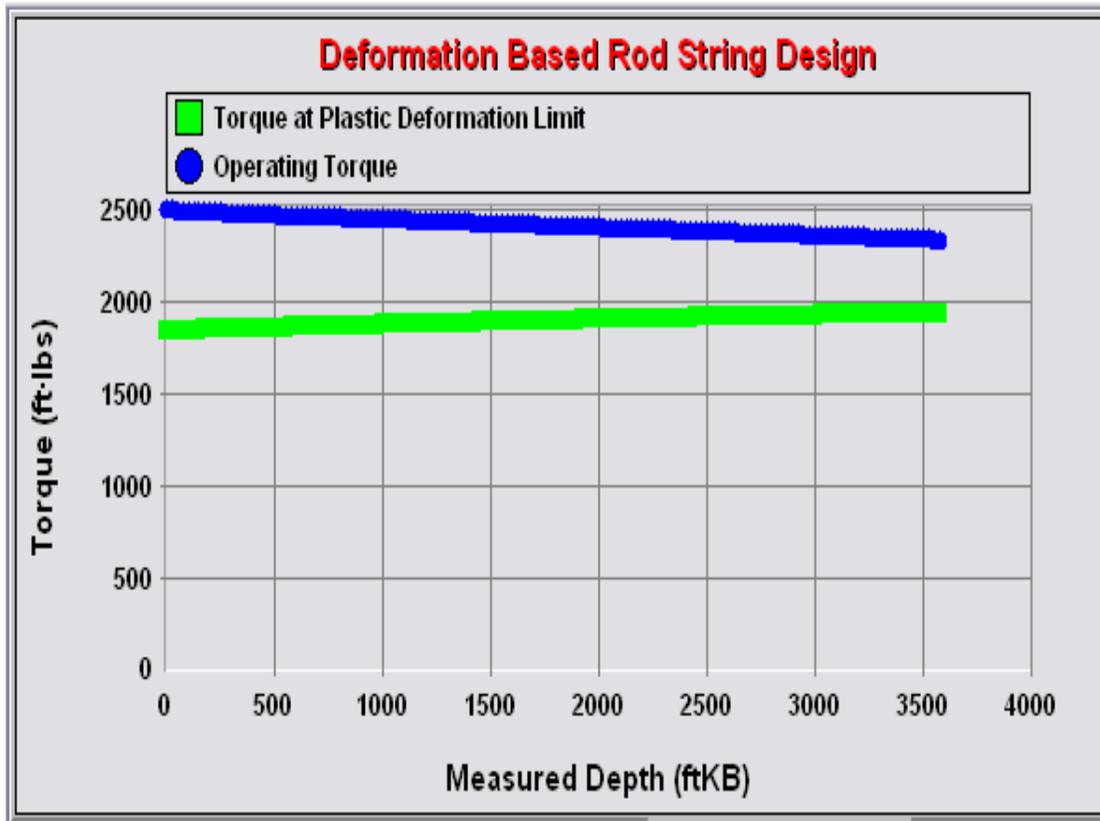
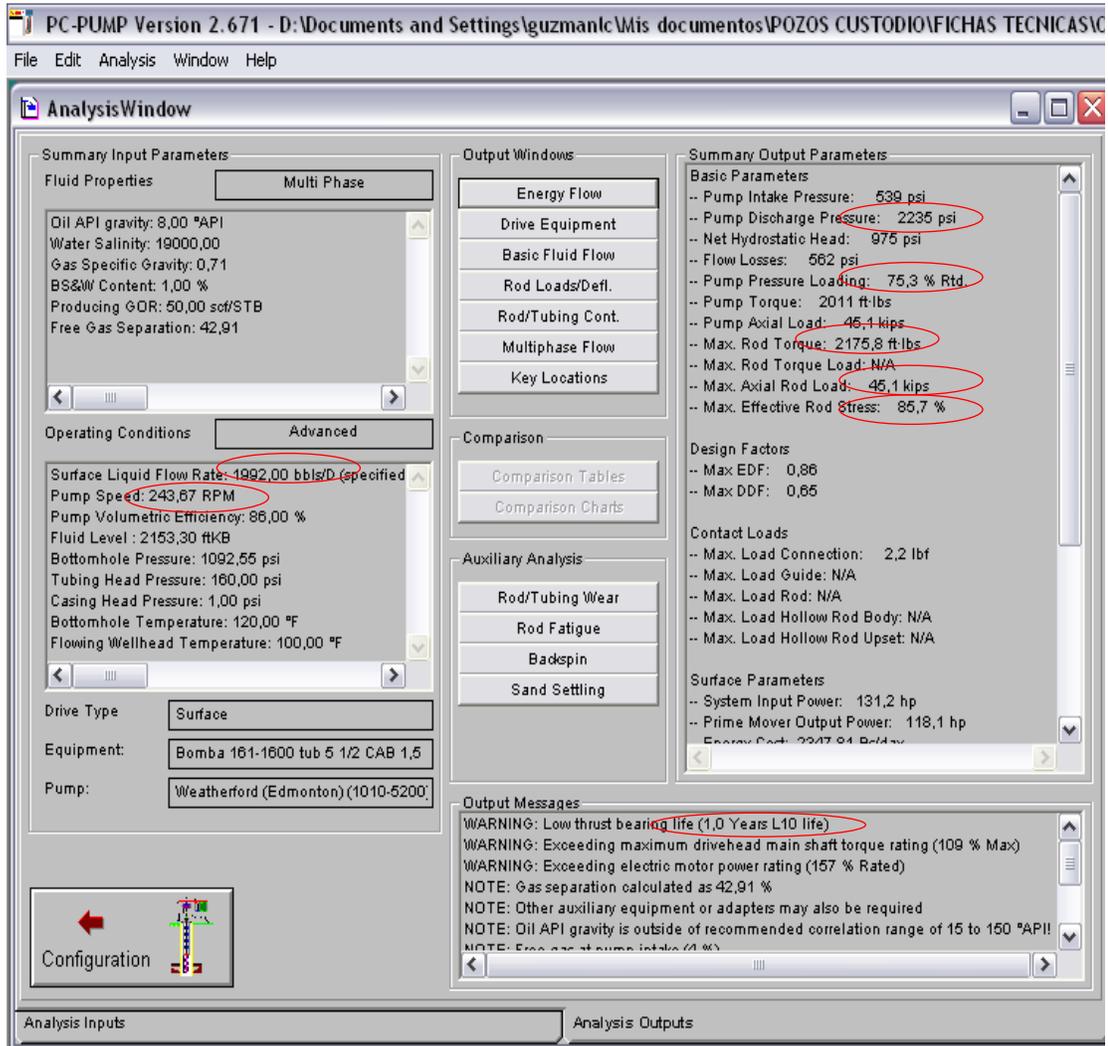


Figura A.2 Límite de deformación de las cabillas de 1 1/8 pulg del pozo CDM-91



**Figura A.3 Simulación de la completación que se propone para el pozo CDM-91.**

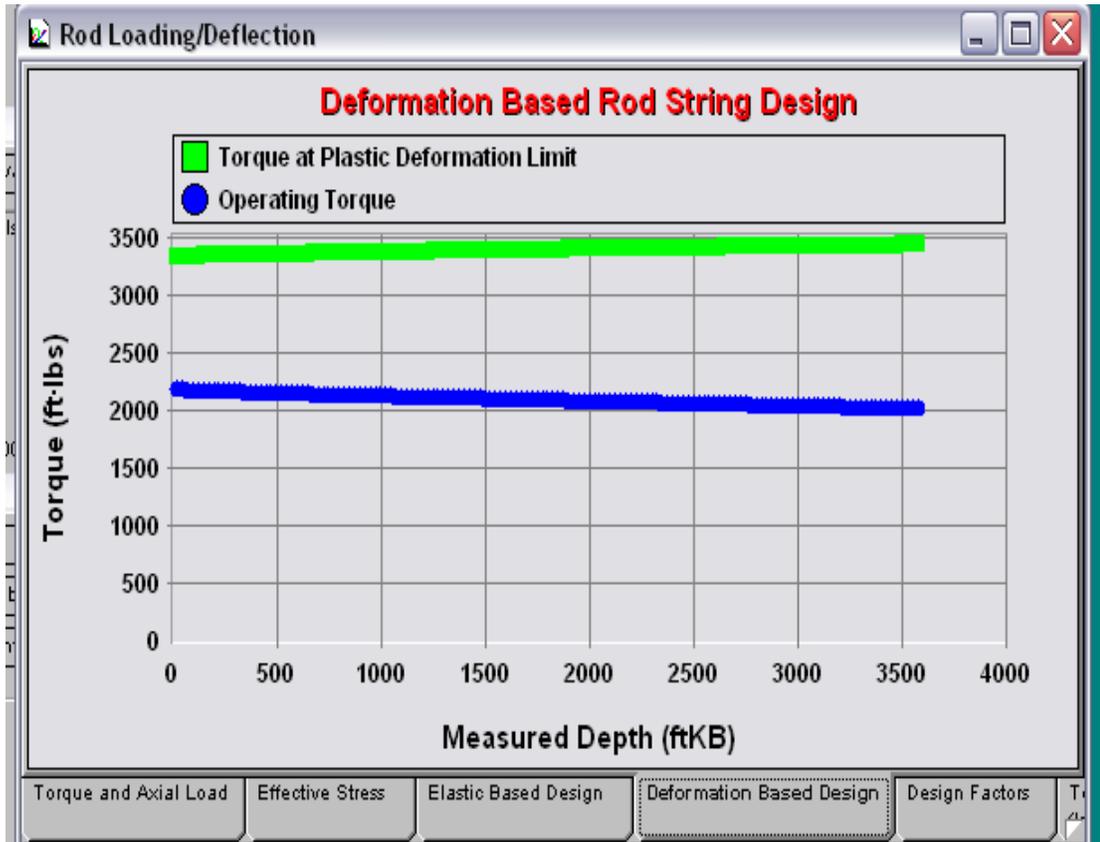
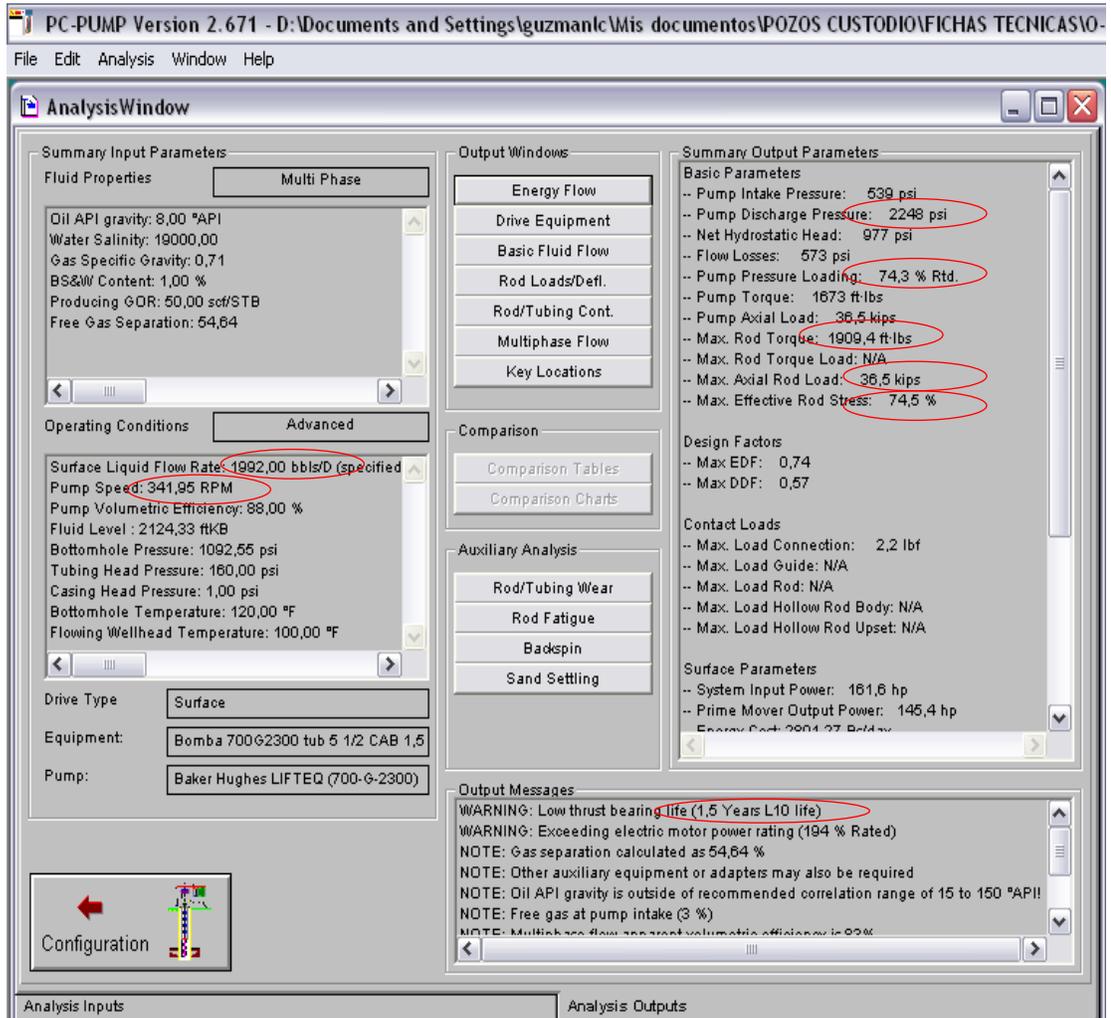


Figura A.4 Límite de deformación de las cabillas de 1 1/4 pulg del pozo CDM-91



**Figura A.5 Simulación de la completación actual del pozo CDM-91**

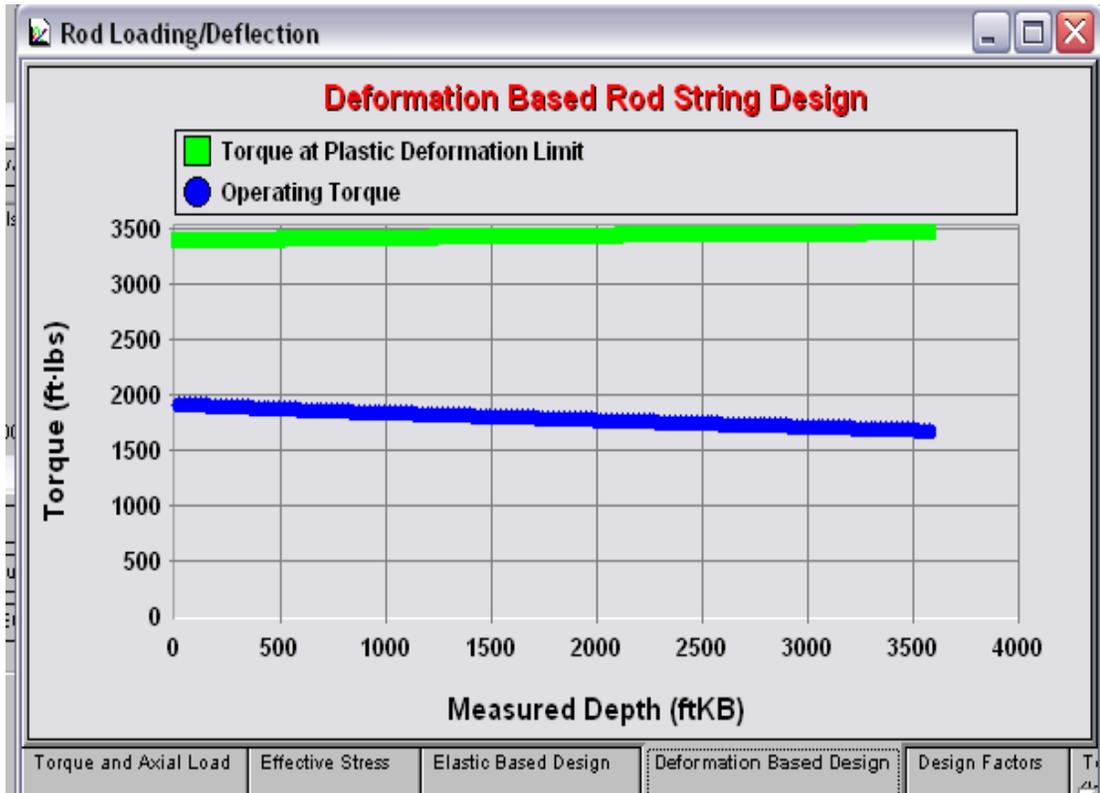
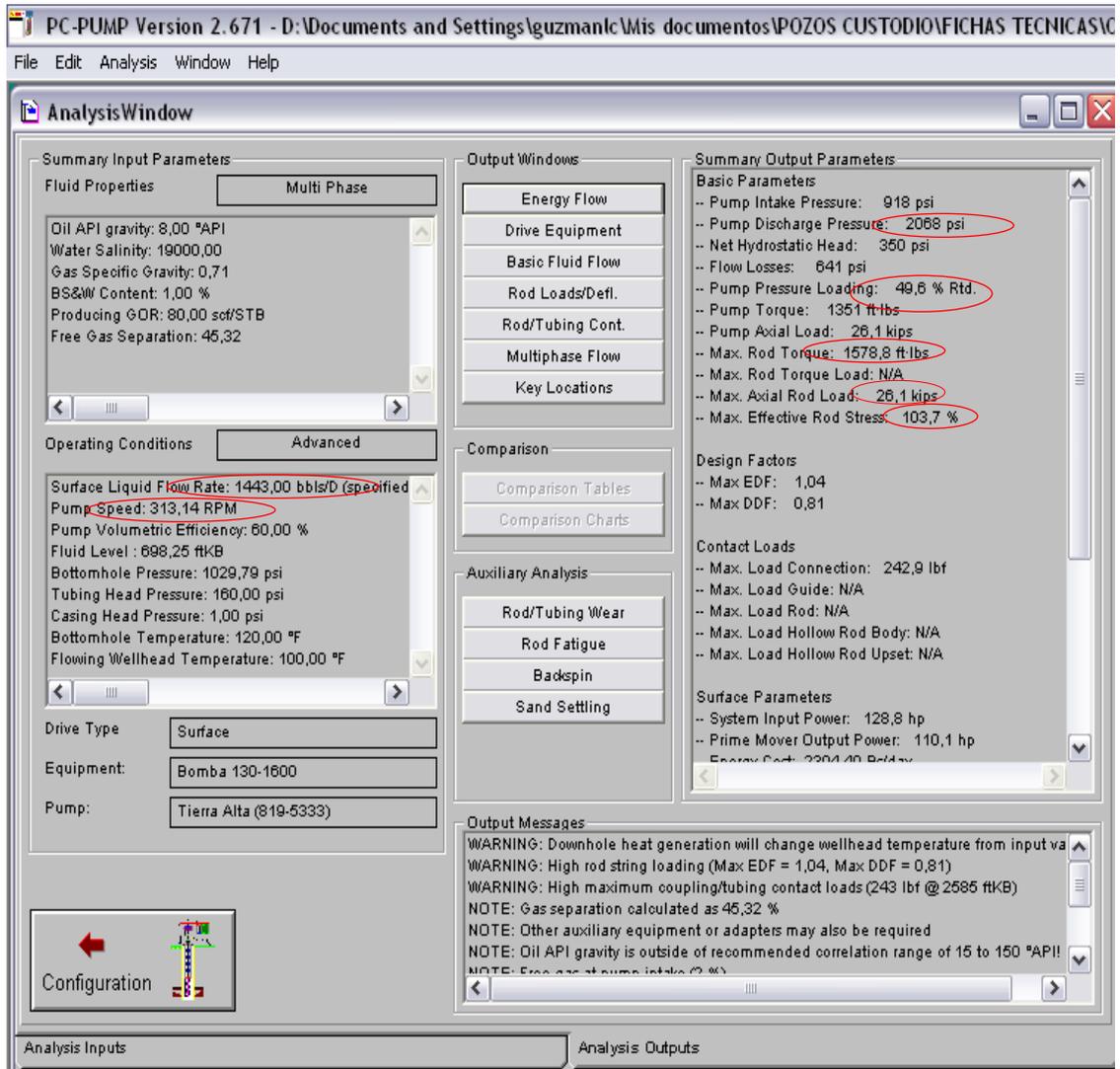


Figura A.6 Límite de deformación de las cabillas de 1 1/2 pulg del pozo CDM-91

## **APÉNDICE B**

**Datos del pozo CDM-93 (Simulaciones de las  
completaciones hechas al pozo y límites de  
deformación de las cabillas)**





**Figura B.1 Simulación de la primera completación del pozo CDM-93**

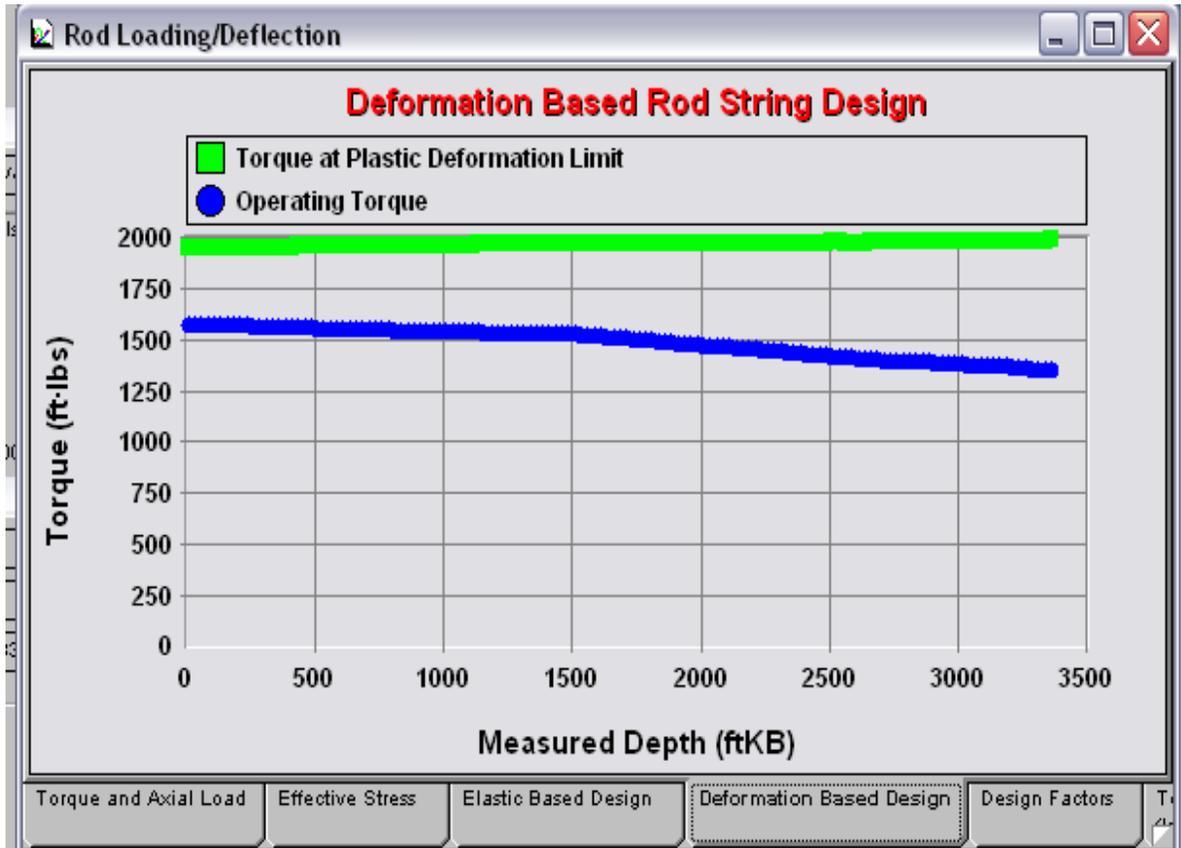


Figura B.2 Límite de deformación de las cabillas de 1 1/4 pulg del pozo CDM-93

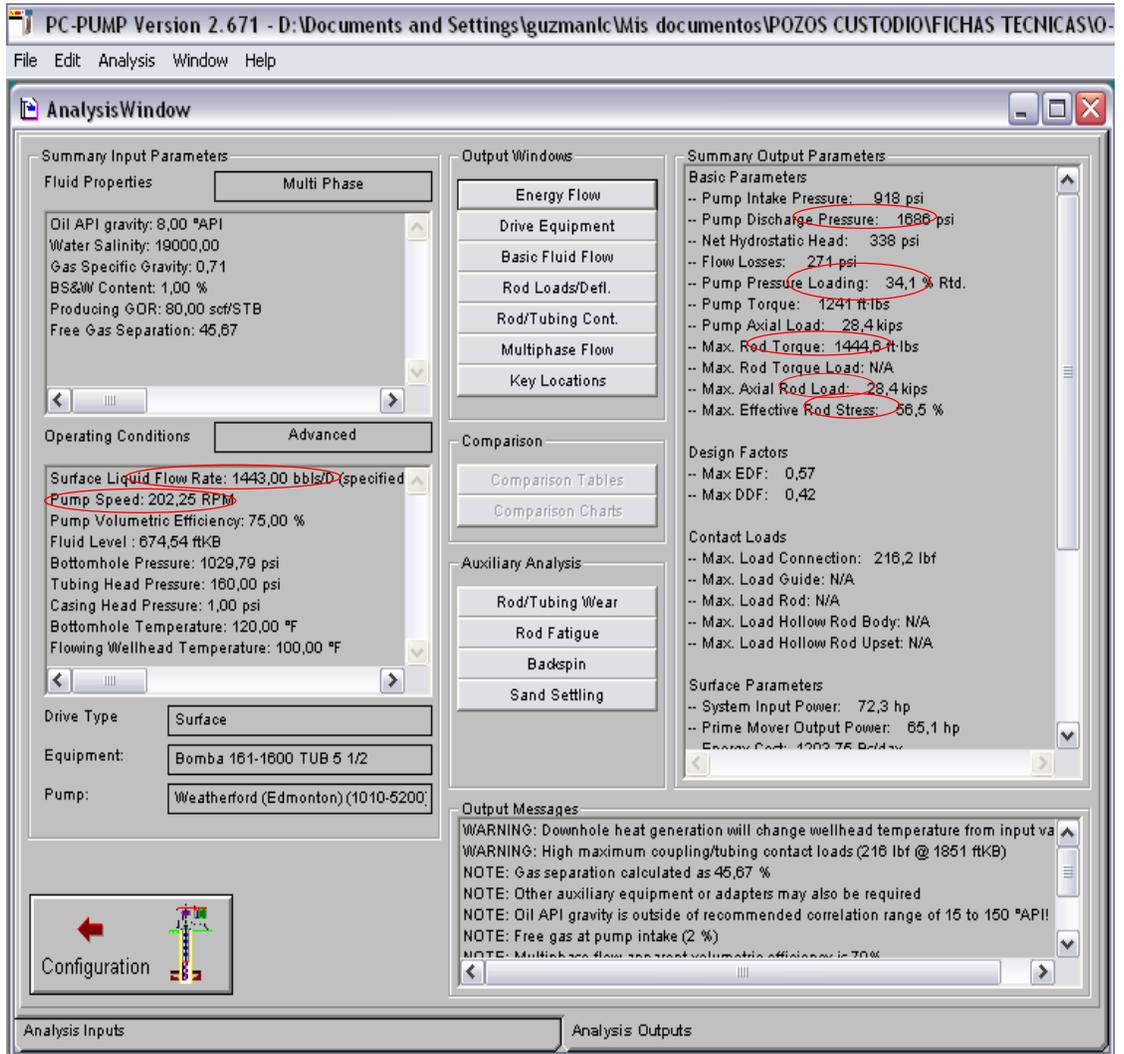


Figura B.3 Simulación de la completación actual del pozo CDM-93

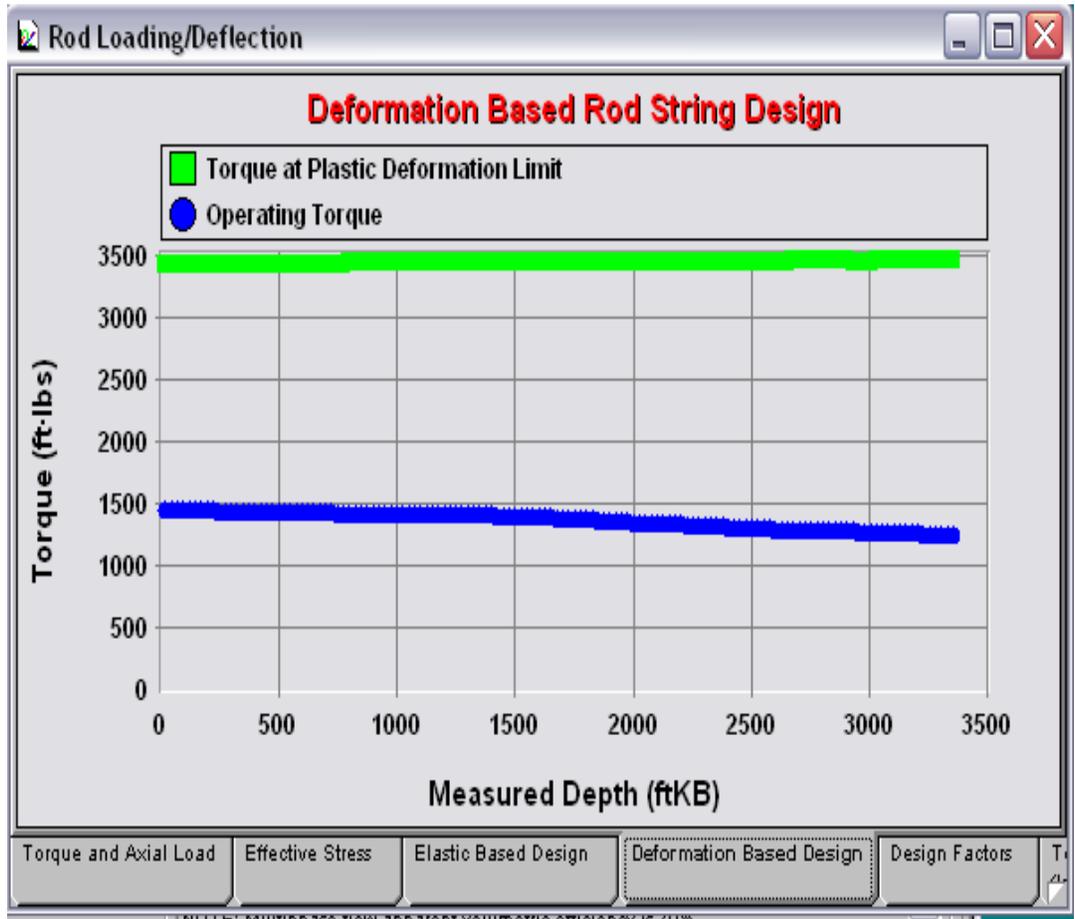


Figura B.4 Límite de deformación de las cabillas de 1 1/2 pulg del pozo CDM-93

## HOJA DE METADATOS

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

1/6

<b>Título</b>	<b>ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE FALLAS EN LOS POZOS CDM-91 Y CDM-93 DE LA MACOLLA URIMARE DEL ÁREA EXTRAPESADO, DISTRITO MORICHAL</b>
<b>Subtítulo</b>	

#### Autor(es):

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Berrío Sarmiento, Alberto José	<b>CVLAC</b>	<b>17.754.934</b>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:joseph_22_r@hotmail.com">joseph_22_r@hotmail.com</a>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	

#### Palabras o frases claves:

Extrapesado
Fallas Operacionales
Generación de alto torque
Inyección de diluyente en fondo
Daño a la bomba
Macolla Urimare

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

2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
TECNOLOGÍ CIENCIAS APLICADAS	PETRÓLEO

### Resumen (Abstract):

Esta investigación tuvo como principal objetivo analizar la frecuencia de fallas en los pozos CDM-91 y CDM-93 de la macolla Urimare del área extrapesado, Distrito Morichal; fue indispensable y necesario realizar el análisis de fallas para minimizar y erradicar de manera inmediata los problemas y fallas operacionales de ambos pozos, que han traído como resultado paradas inesperadas y pérdida de producción, por tal sentido, para lograr y conseguir cambios exitosos en el funcionamiento y productividad de dichos pozos fue necesario describir la completación y operatividad de los pozos, identificar las fallas, analizar la causa-raíz y proponer soluciones para la minimización de todos los problemas y fallas asociadas a los pozos. De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo concluir que es imprescindible prestar la máxima atención a todos los parámetros operacionales desde el momento de la activación de cada pozo, para así garantizar su operación eficiente con la consecuente rentabilidad económica para la industria. También se debe establecer como regla el mejor diseño de completación de cada pozo a perforar en el futuro en la extensa área de la Faja Petrolífera del Orinoco, lo cual traerá como resultados menos paradas inesperadas y menores pérdidas de producción

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

3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ing. Fernando Cañizales	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	5.978.843
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:feralcag@gmail.com">feralcag@gmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
Ing. Martha Espinoza	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	8.396.941
	<b>e-mail</b>	espinozamrel@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
Ing. Airogla Villalobos	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	14.368.647
	<b>e-mail</b>	Avromero17@gmail.com
	<b>e-mail</b>	

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2013	Noviembre	06

**Lenguaje:** spa

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

4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
tesisalbertoberry	

Alcance:

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

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

Título o Grado asociado con el trabajo:

**INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

---

Nivel Asociado con el  
trabajo:

**INGENIERÍA**

---

Área de Estudio:

**INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

---

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

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO DE MONAGAS**

---

---

# 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"**.

Letido 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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *[Firma]*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:20

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLAÑOS CUMBELE**  
Secretario



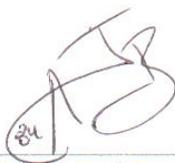
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/maruja

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

### Derechos:

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE 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. Alberto José Berrío  
CI: 17.754.934  
AUTOR



Ing. Fernando Cañizales  
CI: 5.978.843  
TUTOR