



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE  
REVESTIDORES DE LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE,  
ÁREA MAYOR DE ANACO, DISTRITO GAS ANACO**

**REALIZADO POR:**

**JOHANDLYS TERESITA YANEZ NAVARRO  
JESUS ISMARIO OSUNA ARAY**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente para  
obtener el título de:**

**INGENIERO DE PETRÓLEO**

**MATURÍN, JULIO DE 2024**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE  
REVESTIDORES DE LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE,  
ÁREA MAYOR DE ANACO, DISTRITO GAS ANACO**

**REALIZADO POR:**

**JOHANDLYS TERESITA YANEZ NAVARRO  
C.I. 24 411 715  
JESUS ISMARIO OSUNA ARAY  
C.I. 28 119 331**

**REVISADO POR:**

---

**MSc. CARLOS DE LA CRUZ  
ASESOR ACADÉMICO**

**MATURÍN, JULIO DE 2024**



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE  
REVESTIDORES DE LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE,  
ÁREA MAYOR DE ANACO, DISTRITO GAS ANACO**

REALIZADO POR:

JOHANDLYS TERESITA YANEZ NAVARRO

C.I. 24 411 715

JESUS ISMARIO OSUNA ARAY

C.I. 28 119 331

APROBADO POR:

MSc. CARLOS DE LA CRUZ

ASESOR ACADÉMICO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. CARMEN CABELLO  
JURADO  
\_\_\_\_\_  
Prof. JESUS OTAHOLA  
JURADO

MATURÍN, JULIO DE 2024



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EICA-IP-2024

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 000003113-00231-01-2024

En Maturín, siendo las 8:00 am del día 22 de julio del 2024 reunidos en la Sala "A1 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: MSc. Carlos De La Cruz (Asesor Académico), Ing. Jesús Otahola (Jurado), Ing. Carmen Cabello (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de **Ingeniero de Petróleo**, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE REVESTIDORES DE LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE, ÁREA MAYOR DE ANACO, DISTRITO GAS ANACO**. Por la Bachiller: **JOHANDLYS TERESITA YANEZ NAVARRO, C.I. 24 411 715**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: APROBADO POR UNANIMIDAD MEJORA PUBLICACION

*Johandlys Yanez*

Br. Johandlys Teresita Yanez Navarro

C.I.: 24 411 715

Prof. MSc. Carlos De La Cruz

C.I.: 12 664 336

Asesor Académico

Prof. Ing. Carmen Cabello

C.I.: 17 708 641

Jurado

Prof. Ing. Natali Ramos

C.I.: 14 145 134

Sub-Comisión de Trabajo de Grado

Prof. Ing. Jesús Otahola

C.I.: 14 940 176

Jurado

Prof. Ing. Jesús Otahola

C.I.: 14 940 176

Jefe de Departamento



Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. NOTA: Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N°- 367 del 15° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Petróleo, EICA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS



ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EICA-IP-2024

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 000003114-00232-01-2024

En Maturín, siendo las 8:00 am del día 22 de julio del 2024 reunidos en la Sala "A1 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: MSc. Carlos De La Cruz (Asesor Académico), Ing. Jesús Otahola (Jurado), Ing. Carmen Cabello (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de **Ingeniero de Petróleo**, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE REVESTIDORES DE LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE, ÁREA MAYOR DE ANACO, DISTRITO GAS ANACO**. Por el Bachiller: **JESUS ISMARIO OSUNA ARAY, C.I. 28 119 331**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: APROBADO POR UNANIMIDAD MENCIÓN PUBLICACIÓN

*Jesús Osuna*

Br. Jesús Ismarío Osuna Aray

C.I.: 28 119 331

*Carlos De La Cruz*

Prof. MSc. Carlos De La Cruz

C.I.: 12 664 336

Asesor Académico

*Carmen Cabello*

Prof. Ing. Carmen Cabello

C.I.: 17 708 641

Jurado

*Natali Ramos*

Prof. Ing. Natali Ramos

C.I.: 14 145 134

Sub-Comisión de Trabajo de Grado



*Jesús Otahola*

Prof. Ing. Jesús Otahola

C.I.: 14 940 176

Jurado

*Jesús Otahola*

Prof. Ing. Jesús Otahola

C.I.: 14 940 176

Jefe de Departamento



Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. NOTA: Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N°- 368 del 15° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Petróleo, EICA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad De Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo Universitario, para su autorización”.

## **DEDICATORIA**

Me siento feliz y orgulloso de estar hoy donde estoy, este es el resultado de todo el esfuerzo y sacrificio que he hecho durante los últimos 6 años; me ha costado mucho llegar aquí, pero sin duda no hubiese sido posible sin mis padres que han sido mi soporte todos estos años.

Dedico este trabajo a Dios, ante todo por permitirme llegar hasta aquí, vivo y sano, con todas las herramientas necesarias para cumplir mis propósitos.

A mí mismo, por la perseverancia y el esfuerzo que he dejado en cada paso que he dado en este trayecto universitario, porque una vez más estoy aquí demostrándome a mí mismo que si puedo... Solo puedo decirle a ese Jesús Ismario que veía esto como inalcanzable: "Deja de abrumarte, Dios y la vida tienen un plan perfecto para ti".

Muy especialmente a mi mamá, que en vida su lucha siempre fue verme realizado y graduado. Fanny, donde estés, ¡lo lograste!, estoy aquí por ti, gracias mi reina eterna por darme la vida y hacérmela más fácil, te amaré por siempre.

A mi papá, que siempre ha estado presente en cada paso que doy siendo mi soporte, brindándome su apoyo incondicional. Papá, espero que me alcance la vida para poder retribuirte todo, gracias por creer en mí.

**Jesús Ismario Osuna Aray**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad de Oriente por permitirme formarme en ella y a mis profesores que cada uno ha marcado mi vida comuna huella de aprendizaje y enseñanza que perdurará y trascenderá.

A mis compañeros de clases que siempre han sido soporte y ayuda cuan los he necesitado, por muchas veces sin saberlo motivarme e impulsarme a no abandonar este sueño en común, de ser más que compañeros de clases; compañeros de risas, de momentos de estrés, de incertidumbres, de celebraciones y de momentos felices que llevo tatuados en mi corazón.

A mi familia por toda la ayuda directa o indirecta que he podido obtener de ellos y que ese cúmulo de acciones ha servido de suma para que este proyecto de mi vida haya funcionado.

En general a todas las personas (que nombrarlas sería muy largo) que han sumado a mi proyecto, que me han aportado algo en pro de que yo hoy estuviera aquí. A todos ellos gracias, Dios los bendiga siempre, fui bendecido de habérmelos cruzado en el camino.

**Jesús Ismario Osuna Aray**

## INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
INDICE GENERAL .....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
<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.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	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 DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	7
2.2.1 Área Mayor de Anaco.....	7
2.2.2 Campo El Roblote .....	8
2.3 BASES TEÓRICAS .....	9
2.3.1. Perforación de pozos.....	9
2.3.2 Tuberías de revestimiento .....	10
2.3.3 Tipos de tuberías de revestimiento.....	11
2.3.4. Especificación de las tuberías de revestimiento .....	13
2.3.5 Fuerzas que actúan sobre la tubería de revestimiento.....	13
2.3.6 Procedimiento general de diseño de revestidores.....	16
2.3.7 Consideraciones generales para el diseño.....	16
2.3.8 Selección de las profundidades de asentamiento .....	17
2.3.9 Problemas operacionales durante la perforación .....	20
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	22
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>24</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>24</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	24
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	25
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	25

3.4.1 Descripción de los problemas operacionales ocurridos durante la perforación de los pozos ubicados en el Campo El Roblote...	25
3.4.2 Selección de las profundidades de asentamiento, diámetros de hoyo y revestidores, mediante el análisis de presiones de los pozos ubicados en el área .....	26
3.4.3 Establecimiento del diseño óptimo de revestidores mediante los simuladores CasingSeat y StressCheck .....	27
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ....	28
3.5.1 Técnicas .....	28
3.5.2 Instrumentos.....	29
3.6 RECURSOS .....	29
3.6.1 Recursos humanos.....	29
3.6.2 Recursos financieros .....	29
3.6.3 Recursos tecnológicos y de información .....	30
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>31</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES OCURRIDOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS UBICADOS EN EL CAMPO EL ROBLOTE.....	31
4.2 SELECCIÓN DE LAS PROFUNDIDADES DE ASENTAMIENTO, DIÁMETROS DE HOYO Y REVESTIDORES, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PRESIONES DE LOS POZOS UBICADOS EN EL ÁREA .....	37
4.2.1 Análisis de geopresiones.....	37
4.2.2 Profundidad de asentamiento y diámetros de hoyo y tubería de revestimiento .....	40
4.2.3 Selección de Diámetro de hoyo/revestidor .....	44
4.3 ESTABLECIMIENTO DEL DISEÑO ÓPTIMO DE REVESTIDORES MEDIANTE LOS SIMULADORES CASINGSEAT Y STRESSCHECK.....	47
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	54
5.2 RECOMENDACIONES.....	55
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>HOJAS METADATOS .....</b>	<b>58</b>

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Ubicación geográfica del campo El Roblote .....	8
Figura 2.2 Tipos de tubería de revestimiento.....	10
Figura 2.3 Especificaciones de la tubería de revestimiento .....	13
Figura 2.4 Representación esquemática del estado triaxial de esfuerzo .....	15
Figura 2.5 Selección de profundidad de asentamiento .....	19
Figura 4.1 Ficha del Pozo ROE-3X.....	31
Figura 4.2 Ficha del Pozo ROE-4X.....	32
Figura 4.3 Ficha del Pozo ROE-5X.....	32
Figura 4.4 Ficha del Pozo ROE-6 .....	33
Figura 4.5 Problemas operacionales del campo El Roblote .....	35
Figura 4.6 Densidad del fluido de perforación usado en los pozos.....	36
Figura 4.7 Perfil de Velocidad Interválica.....	37
Figura 4.8 Estimación de geopresiones del pozo ROE-4X .....	38
Figura 4.9 Estimación de geopresiones del pozo ROE-3X .....	39
Figura 4.10 Perfiles de presión de poros y fractura campo El Roblote .....	40
Figura 4.11 Selección de diámetros de hoyo/revestidores .....	46
Figura 4.12 Esquema Actual de los pozos del Campo El Roblote. ....	47
Figura 4.13 Esquema propuesto para los pozos del Campo El Roblote .....	48
Figura 4.14 Diagrama de Von Mises – Rev. 13 3/8 pulgadas.....	52
Figura 4.15 Diagrama de Von Mises – Rev. 9 5/8 pulgadas.....	52
Figura 4.16 Diagrama de Von Mises – Liner 7 pulgadas .....	52

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1 Problemas operacionales en los pozos en estudio .....	33
Tabla 4.2 Datos de la sección productora.....	44
Tabla 4.2 Fases de hoyo/Revestidores campo El Roblote .....	46
Tabla 4.3 Diseño de revestidores propuesto campo El Roblote .....	50
Tabla 4.4 Factores de seguridad para cada revestidor (StressCheck) .....	50
Tabla 4.5 Factores de seguridad establecidos por PDVSA .....	51



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**ESTABLECIMIENTO DEL ESQUEMA ÓPTIMO DE REVESTIDORES DE  
LOS POZOS DEL CAMPO EL ROBLOTE, ÁREA MAYOR DE ANACO,  
DISTRITO GAS ANACO.**

**AUTORES:**

Johandlys Teresita Yanez Navarro  
C.I. 24 411 715  
Jesús Ismarío Osuna Aray  
C.I. 28 119 331

**ASESOR:**

MSc. Carlos de La Cruz  
C.I. 12.664.336

Julio, 2024

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de establecer el esquema óptimo de revestidores de los pozos del campo El Roblote, perteneciente al Área Mayor de Anaco del Distrito Gas Anaco en el estado Anzoátegui. Para esto, en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de los pozos perforados en el área de estudio para identificar los problemas operacionales ocurridos durante su perforación. Posteriormente, se seleccionaron las profundidades de asentamiento de los revestidores, mediante el análisis de presiones realizado en el área y el programa Compass, para finalmente, establecer el diseño preliminar de revestidores con el programa CasingSeat y StressCheck, haciendo sensibilidades de revestidores de distintos grados de acero y pesos con el fin de elaborar una propuesta optimizada con las tuberías más adecuadas que se ajusten al comportamiento real del pozo y que a su vez cumplan con el criterio de mínimo costo por diseño. Como resultado final se obtuvo la nueva propuesta, donde se sustentó el ahorro de perforación de una fase obteniendo el diseño de tres (3) revestidores: superficial de 13 3/8 pulgadas a 1500 pies, un revestidor intermedio de 9 5/8 pulgadas a 6360 pies y finaliza con un revestidor de producción de 7 pulgadas a 9201 pies, cumpliendo con los criterios de seguridad y de diseño mínimos exigidos por PDVSA para establecer el diseño de revestidores óptimo para pozos exploratorios con condiciones similares a las del campo El Roblote, del área mayor de Anaco.

**Palabras claves:** perforación, revestidores, simuladores, campo El Roblote.

## INTRODUCCIÓN

La técnica de revestimiento de un hoyo es de suma importancia en la planificación y perforación de pozos, ya que permite mejorar la eficiencia operacional y la seguridad del proceso, minimizando el impacto ambiental. El medio con el cual se reviste el hoyo es a través del uso de tuberías de revestimiento, cuyo principal objetivo es proteger las zonas problemáticas que se atraviesan durante la perforación, prevenir contaminaciones y aislar los fluidos de las formaciones productoras.

En la planificación y perforación de pozos es importante seleccionar las tuberías de revestimiento adecuadas, para que suministren un soporte a las paredes del hoyo, debido a que una mala selección o fallas en los cálculos, ocasionarían incremento de los costos, riesgo de pérdida del pozo, riesgos hacia el ambiente y a la seguridad. (Molero, 2008).

La tubería de revestimiento está constituida por diferentes secciones que varían en cuanto a diámetros, espesores y materiales, dependiendo de las condiciones de profundidad, presión y temperatura de cada zona, por lo que es necesario considerar los esfuerzos a la cual estará sometida (esfuerzo a la tensión, al colapso y al estallido) y las diferentes características del tipo de tubería a usarse, para el diseño de la tubería de revestimiento óptimo, que garantice la seguridad y economía del proceso de perforación y en trabajos durante la vida productora del pozo. (Molero, 2008).

Razón por la cual, este trabajo tiene como objetivo principal proponer un diseño de revestidores óptimo basándose en la experiencia operacional y geopresiones estimadas para el Campo El Roblote del Distrito Gas Anaco, que sea económicamente rentable y capaz de mejorar la producción de

hidrocarburos, tomándose como modelo de referencia para los futuros pozos a perforar en el área. Para lograr esto, se utilizaron programas de simulación como el Casing SEAT y el StressCheck, que permiten definir el mejor esquema de revestidores posible ajustados a los factores de seguridad y diseño establecidos por la empresa PDVSA.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las operaciones de revestimiento que se realizan en los pozos del campo El Roblote, del Área Mayor de Anaco perteneciente al Distrito Gas Anaco, generalmente se ejecutan mediante la construcción de cuatro fases fundamentales; en la primera fase se perfora un hoyo de 26 pulgadas hasta la profundidad planificada, luego se introduce la tubería de revestimiento conductora de 20 pulgadas hasta el punto de asentamiento, donde es cementada hasta su totalidad; en la segunda fase se perfora un hoyo de 17 ½ pulgadas hasta la profundidad (revestidor de 13 3/8 pulgadas cementada hasta la superficie); en la tercera fase se perfora un hoyo de 12 ¼ pulgadas y se baja la tubería intermedia de 9 5/8 pulgadas hasta el punto de asentamiento para luego ser cementada, finalizando en la cuarta fase con la perforación de un hoyo de 8 ½ pulgadas, donde se introduce un liner de 7 5/8 pulgadas hasta el fondo para luego ser cementado. (Castillo, 2019).

Estas tuberías de revestimiento fueron diseñadas bajo consideraciones estándar: diámetro nominal, peso nominal y grado del material, sin tomar en cuenta que cada campo del Área Mayor de Anaco presenta un comportamiento distinto desde el punto de vista estático y dinámico y por ende requerimientos específicos.

Durante la perforación de pozos de esta área de estudio, se ha observado la ocurrencia de pérdidas severas del fluido, apoyos y arrastres constantes de la tubería de perforación, ya que estas zonas son

geológicamente inestables, lo cual puede traer como principal consecuencia riesgos por un colapso de la tubería. Adicionalmente, se ha comprobado la ejecución de malas cementaciones, donde se presentan micro anillos entre la tubería y el cemento, lo que puede provocar una arremetida de gas hacia la superficie y un rápido deterioro por corrosión de la tubería, incrementado los esfuerzos que se producen en la misma. Aunado a esto, también se debe considerar la baja disponibilidad para adquirir las tuberías de revestimiento en la actualidad, por lo que se deben utilizar tuberías combinadas de distintas capacidades para minimizar y apalear en parte las consecuencias de la deficiencia en la procura de materiales. (Castillo, 2019)

En tal sentido, surgió la necesidad de establecer el diseño óptimo de revestidores para el campo El Roblote, en función a la problemática anteriormente planteada, con el propósito de que la tubería seleccionada sea la más eficaz, que soporte las condiciones de presiones y cargas durante las operaciones realizadas, ofreciendo un aporte significativo en la seguridad, factibilidad y economía del proceso de perforación en los futuros pozos a perforar en el área de estudio.

## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Objetivo general**

Establecer el esquema óptimo de tuberías de revestimiento de los pozos a perforar en el campo El Roblote, Área Mayor de Anaco, Distrito Gas Anaco.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Describir los problemas operacionales ocurridos durante la perforación de los pozos ubicados en el Campo El Roblote.
- Seleccionar las profundidades de asentamiento de los revestidores, mediante el análisis de presiones.
- Establecer el diseño óptimo de revestidores mediante los simuladores CasingSeat y StressCheck.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido a los diversos problemas que se han presentado durante la perforación de los pozos perforados en el campo El Roblote del Distrito Anaco (pérdidas del fluido, apoyos y arrastres constantes de la tubería de perforación), lo cual trajo como consecuencia riesgos por un colapso de la tubería, se propuso realizar este trabajo con el objetivo de establecer el diseño óptimo de revestidores a aplicar en los nuevos pozos a perforar en el área, mediante los programas de simulación, que garanticen el incremento de la producción en la zona, de una manera rentable y segura.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**Pereda, M. (2022).** En su trabajo de investigación “**Establecimiento del esquema óptimo de revestidores de los pozos del campo Pato, Distrito Gas Anaco, Estado Anzoátegui**”, realizó una revisión bibliográfica de los pozos perforados en el área de estudio para identificar los problemas operacionales ocurridos durante su perforación. Posteriormente, estableció la ventana operacional del fluido de perforación, determinando la presión de poro y gradiente de fractura mediante el programa DrillWorks Predict, tomando como base el pozo PAG-3X, realizó la trayectoria direccional del pozo mediante el programa Compass y elaboró el diseño preliminar de revestidores con el programa CasingSeat y mediante el programa StressCheck realizó el análisis de carga de los revestidores para así obtener el diseño óptimo, obteniendo un revestidor de superficie de 20 pulgadas de diámetro, un primer revestidor intermedio de 16 pulgadas diámetro externo, un segundo revestidor intermedio de 13  $\frac{3}{8}$  pulgadas, un primer revestidor de producción de 9  $\frac{5}{8}$  pulgadas y finalmente otro revestidor de producción (liner) con diámetro externo de 7  $\frac{5}{8}$  pulgadas, cumpliendo con los criterios de seguridad y de diseño mínimos exigidos por PDVSA.

La contribución de esta investigación, estuvo centrada en el procedimiento realizado en el Distrito Gas Anaco para seleccionar el esquema de revestidores en los pozos del área y la utilización de los simuladores de diseño.

**Pérez, A. y Carreño, B. (2012). “Diseño de metodología de trabajo para el diseño de revestidores de los proyectos de PDVSA GAS, Venezuela”.** Este estudio se enfocó en la elaboración de un manual que muestra todas las fases presentes en el proceso de diseño de revestidores, su aplicación e importancia, desde selección de: profundidades de asentamiento, materiales, conexiones, propiedades geométricas hasta finalmente establecer la configuración de las sartas de tubulares más óptima dependiendo de su función dentro del pozo. Adicionalmente, se analizaron las cargas de diseño establecidas por el Instituto Americano de Petróleo (estallido, colapso y tensión) y se calibró el diseño tomando en consideración las cargas de compresión, esfuerzos triaxiales, efectos de cambios de temperatura, pandeo, desgaste, y cualquier otro tipo de carga, estática o dinámica, que impacte sobre el diseño de las sartas de revestimiento y producción.

Este estudio permitió conocer la metodología seguida por PDVSA para el diseño de los revestidores, en cuanto a selección, cargas de diseño y esfuerzos.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

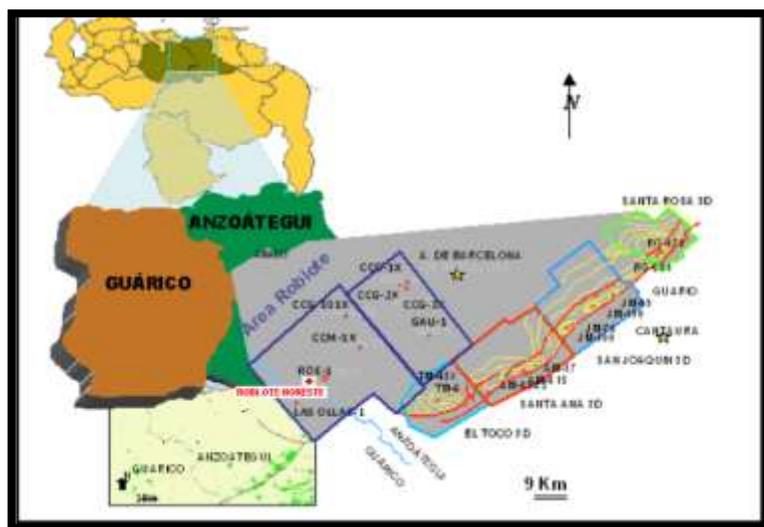
### **2.2.1 Área Mayor de Anaco**

El Área Mayor Anaco se encuentra ubicada en la zona centro del estado Anzoátegui, con una extensión de 3.160 km<sup>2</sup>, y está dividida en dos áreas operacionales como son: A.M.A Este y A.M.A Oeste. En A.M.A Este se encuentran los campos: Quiamare, La Ceiba, Tacata, Cerro Pelado y Santa Rosa, mientras que en A.M.A Oeste se encuentran los Campos: Santa Ana, San Joaquín, El Roble, Guarío y El Toco. Es importante resaltar que los

yacimientos pertenecientes a estos campos producen principalmente gas y condensado (PDVSA, 2017).

### 2.2.2 Campo El Roblote

El campo El Roblote se encuentra ubicado en el Municipio Mac Gregor, Oeste del estado Anzoátegui, a 25 kms al Oeste del campo El Toco y al Noroeste del alineamiento de Anaco, entre las áreas de Las Ollas y Cascaroncito. (Castillo, 2019).



**Figura 2.1 Ubicación geográfica del campo El Roblote**

Fuente: Castillo (2019)

En la Figura N° 2.1 puede observarse la ubicación del Campo El Roblote, en relación a la distribución del resto de los campos en el Área Mayor de Anaco, la cual se encuentra adyacente a la zona del “Trend de Anaco”, caracterizada por una serie de fallas que generaron estructuras compresivas, que conforman los campos de El Toco, Santa Ana, San Joaquín y Santa Rosa. El rasgo estructural conocido como Corrimiento de

Anaco, representa parte del sistema de fallamientos paralelos o en echelon que bordean el Graben de Espino en su lado Sur (conformado sucesivamente por las fallas Altamira, Aníbal y Anaco). El borde Norte del mismo graben, está conformado por las fallas: Ruiz Saban y Guama Saban. (Castillo, 2019).

## **2.3 BASES TEÓRICAS**

### **2.3.1. Perforación de pozos**

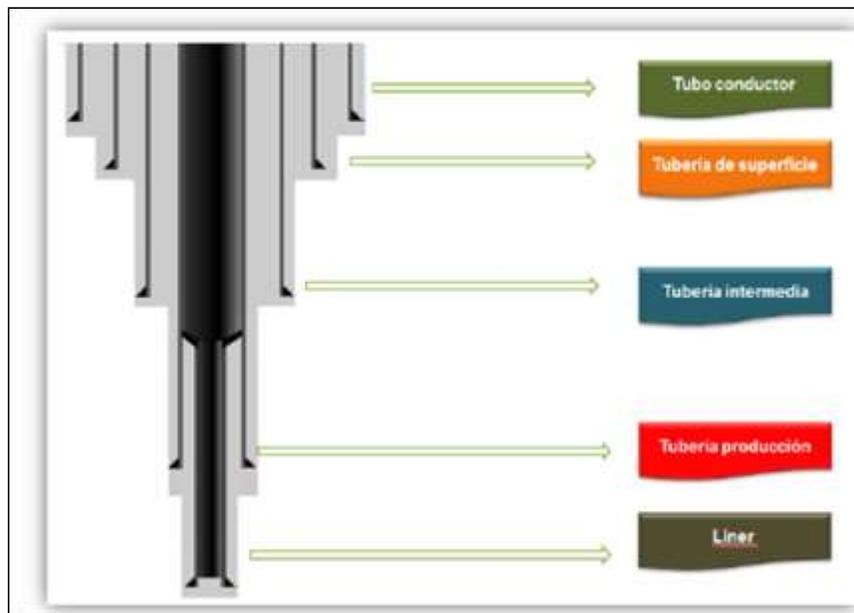
La perforación consiste en construir un pozo útil; un conducto desde el yacimiento hasta la superficie, que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible. Para el diseño del mismo, se deben seguir las siguientes etapas:

- Recopilación de la información disponible.
- Predicción de presión de formación y fractura.
- Determinación de la profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento.
- Selección de la geometría y trayectoria del pozo.
- Programa de fluidos de perforación.
- Diseño de las tuberías de revestimiento y programa de cementación.
- Programa hidráulico.
- Selección del equipo de perforación.
- Tiempos estimados de perforación.
- Costos de la perforación. (PDVSA, Intevep, 1998)

### 2.3.2 Tuberías de revestimiento

En general, se puede definir como tubería de revestimiento a la que se utiliza para recubrir las paredes del pozo, con el propósito principal de proteger las paredes del mismo. Usualmente, está constituida por secciones de diferentes diámetros, espesores y materiales, dependiendo de las condiciones de profundidad, presión, temperatura, entre otros, reinantes en cada zona. Por otra parte, la tubería de producción será aquella por donde circulará el hidrocarburo en su camino a la superficie. (PDVSA, Intevep, 1998).

En la Figura N° 2.2 se presentan esquemáticamente los diferentes tipos de tubería de revestimiento.



**Figura 2.2 Tipos de tubería de revestimiento**

Fuente: PDVSA, Intevep (1998)

Hay tres señalamientos generales que se pueden aplicar a cualquier elemento de la sarta, dependiendo de ciertas características. El primero es el calificativo de “producción”. Un elemento es llamado “de producción” (revestidor intermedio vs. revestidor de producción) cuando existe la posibilidad de contacto con el fluido de producción. El segundo es “camisa”, se denomina así a un revestidor que no llega a la superficie, sino que es “colgado” del revestidor anterior. El tercer calificativo es de “tieback”, el cual designa un revestidor que empalma en uno inferior y sube a la superficie (lo contrario de la camisa).

En un diseño de pozo cada sarta de tubería cumple una función vital en las fases de perforación y producción del pozo. En la próxima sección se presenta una breve descripción del papel de cada sarta de la tubería de revestimiento y las cargas que deben resistir. (PDVSA, Intevep, 1998).

### **2.3.3 Tipos de tuberías de revestimiento**

El objetivo del diseño de revestimiento es seleccionar una tubería de revestimiento con un cierto grado, peso y junta, que sea resistente a fuerzas a las que estará sometida, así como también la más económica. El número de sarta de revestimiento que se colocan en un pozo es función de la naturaleza de las formaciones por atravesar y de la profundidad final de hoyo. Las diferentes sartas de revestimiento que se pueden colocar en un pozo son:

- **Tubería conductora:** es la primera que se cementa o hinca al iniciar la perforación del pozo, donde la profundidad de asentamiento varía de 20 metros a 250 metros. Su objetivo principal es establecer un medio de

circulación y control del fluido de perforación que retorna del pozo hacia el equipo de eliminación de sólidos y las presas de tratamiento. Además, permite continuar perforando hasta alcanzar la profundidad para asentar la tubería de revestimiento superficial.

- **Tubería superficial:** esta tubería tiene como propósito instalar conexiones superficiales de control y al mismo tiempo proteger el hoyo descubierto, aislando así flujos de agua y zonas de pérdida de lodo cercanas a la superficie del terreno.
- **Tubería intermedia:** su objetivo de aislar zonas que contengan presiones normales de formación, flujos de agua, derrumbes y pérdidas de circulación. En sí, se utilizan como protección del hoyo descubierto, para tratar en la mayoría de los casos de incrementar la densidad de los fluidos de perforación y controlar las zonas de alta presión.
- **Tubería de explotación:** estas tuberías tienen como meta primordial aislar el yacimiento de fluidos indeseados en la formación productora y de otras zonas del hoyo, también para la instalación de empacaduras de producción y accesorios utilizados en la terminación del mismo.
- **Tubería de revestimiento corta o liners:** constituye una instalación especial que evita utilizar una sarta de la superficie al fondo del pozo; la longitud de esta tubería permite cubrir el hoyo desnudo, quedando una parte traslapada dentro de la última tubería que puede variar de 50 a 150 metro, y en ocasiones se emplea una longitud mayor dependiendo del objetivo de su instrucción. (Molero, 2008).

### 2.3.4. Especificación de las tuberías de revestimiento

Las especificaciones de los tubulares de pozos petroleros son cubiertas por el Instituto Americano del Petróleo, API por sus siglas en inglés (*American Petroleum Institute*), específicamente en la norma API 5CT.

La especificación básica de los revestidores está conformada por los siguientes parámetros: diámetro externo, peso (espesor), grado y tipo de conexión. Así por ejemplo una tubería de revestimiento se identifica tal como se muestra en la Figura N° 2.3.



**Figura 2.3 Especificaciones de la tubería de revestimiento**

Fuente: PDVSA, Intevep (1998)

### 2.3.5 Fuerzas que actúan sobre la tubería de revestimiento

Los revestidores están sometidos a esfuerzos generados por los fluidos que están, tanto contenidos en el revestidor, como los fluidos externos a este. Estos fluidos generan presiones interna y externamente sobre los tubulares. El peso propio de los revestidores genera una carga axial producto de su longitud y peso.

- **Estallido o presión interna**

La condición de estallido se genera cuando el perfil de presión interna prevalece o es mayor que el perfil de presión externa. El diferencial de presión genera una condición de expansión del tubular que si es muy alta puede sobrepasar el límite elástico del revestidor.

- **Colapso de tubería**

La condición de colapso de tubería se produce cuando el perfil de presión externa es mayor al perfil de presión interna, lo que genera una condición de aprisionamiento o tendencia al colapso del tubular.

- **Carga axial**

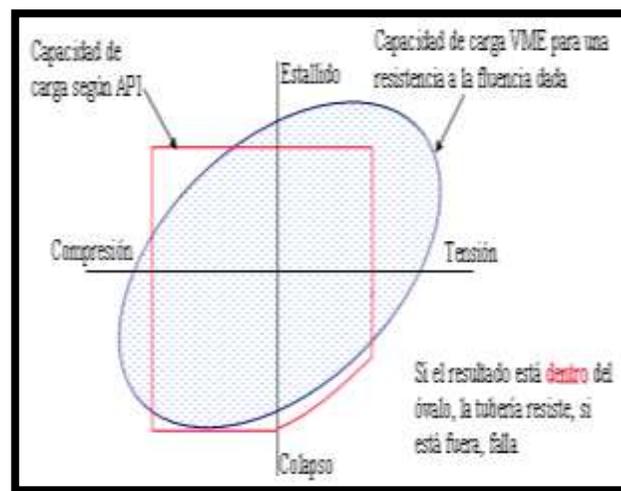
Cuando se diseña una sarta para que opere en condiciones de tensión, los métodos convencionales parten de una premisa en virtud de la cual la tubería está suspendida en un fluido uniforme. Por consiguiente, los únicos factores que determinan la carga de tensión en el revestidor son el peso suspendido y la fuerza de flotabilidad aplicada al fondo de la sarta. Sin embargo, un modelo avanzado, considera otros factores que inciden en la cantidad de tensión existente en la sarta, a saber: variaciones de temperatura, efecto de Poisson y flotabilidad.

- **Enfoque triaxial**

La determinación de la carga triaxial (es decir, análisis de esfuerzo triaxial) requiere la evaluación de las tensiones radiales, tangenciales y

axiales que resultan en la tubería de una carga particular caso de carga. Una vez hecho esto, se puede realizar un análisis de esfuerzo triaxial.

Un criterio exacto y ampliamente aceptado para predecir el inicio de la cedencia de materiales isotrópicos dúctiles es la teoría de la energía de distorsión, conocida también como teoría de la energía de cizallamiento o teoría de Hencky-von Mises. Se ha demostrado mediante experimentos que la teoría de Hencky von Mises predice la cedencia de materiales isotrópicos dúctiles con un grado elevado de precisión. (Figura 2.4)



**Figura 2.4 Representación esquemática del estado triaxial de esfuerzo**  
Fuente: PDVSA, Intevp (1998)

Dividiendo la resistencia a la fluencia (o esfuerzo equivalente VME permitido) por el factor de diseño, se obtiene una nueva “elipse” más pequeña. Si la línea de carga de servicio cae toda dentro de la elipse pequeña, se tiene un diseño seguro; si algún punto cae entre la elipse pequeña y la grande, probablemente no habrá deformación plástica, pero no es un diseño seguro (no cumple con el factor de diseño establecido o margen de seguridad) y si hay

alguna parte de la línea fuera de la elipse grande, esa zona del tubo sufrirá deformación plástica y eventualmente puede fallar. (Molero, 2008).

### **2.3.6 Procedimiento general de diseño de revestidores**

El diseño del plan de revestimiento de un pozo, mejor conocido como diseño de revestidores (*casing design*), consiste en seleccionar la profundidad o puntos de asentamiento y el diámetro de los revestidores, además, determinar las características mecánicas tales como, peso, grado y tipo de conexión requerida.

Según el Manual de Diseño de PDVSA (1998), es necesario que todo diseño de revestidores sea:

- Seguro, que no falle cuando soporte las cargas previstas.
- Económico, que el equipo seleccionado garantice el menor costo total de instalación posible.
- Factible, que el diseño sea posible de implantar e instalar.

### **2.3.7 Consideraciones generales para el diseño**

Para diseñar eficientemente una sarta de revestimiento, hay que disponer de una serie de datos, como los indicados a continuación:

- Perfil de presión de poros y de fractura debidamente calibrados.
- Estructura geológica del campo.
- La distribución o perfil de la temperatura.
- Las funciones del pozo, actuales y futuras.

- Caudal de fluido esperado.
- Tipo de completación.
- Diámetros de los equipos de completación.
- Saber si existen agentes corrosivos que puedan atacar el revestidor de producción.

Una vez se disponga de los datos antes mencionados se procede a:

- Seleccionar las profundidades de asentamiento.
- Escoger los diámetros de los distintos revestidores.
- Determinar los tipos de material, espesores y conexiones de las sartas. (Molero, 2008).

### **2.3.8 Selección de las profundidades de asentamiento**

Partiendo de los perfiles de presión de poros y fractura, se procede a determinar cuál es la profundidad de cada una de las secciones que formarán parte del pozo. Para ello se consideran las premisas del manual de PDVSA (1998). La forma tradicional de determinar la profundidad de asentamiento de los revestidores es mediante el método gráfico, el cual se describe seguidamente.

Por razones de seguridad, se trabaja con una presión ligeramente superior o sobre balance a la presión de poros, generalmente entre 0,5 y 1 Lb/gal (línea roja punteada de la Figura 2.5). Igual se hace con la presión de fractura a la que se le sustrae un valor similar (0,5 Lb/gal), conocido como margen de arremetida (línea verde punteada) por seguridad.

La operación normal de perforación se desarrollará en el espacio entre ambos márgenes de seguridad, lo que se conoce como la ventana operacional. Es decir, se utilizará un fluido de perforación que genere más presión que la presión de poro para “controlar” el pozo, pero que no genere una presión tan alta que fracture la formación.

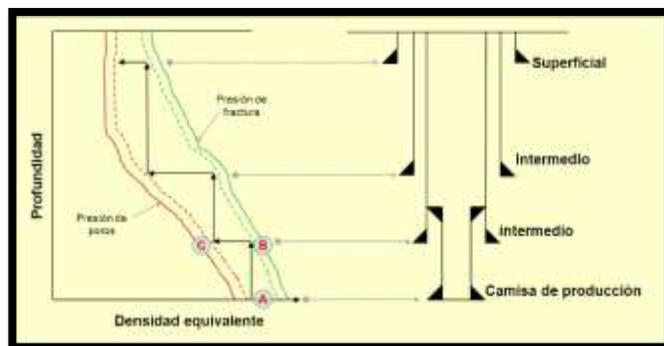
Se tomará como ejemplo la Figura N° 2.5 para ejemplificar el procedimiento general, el cual se indica a continuación:

- Se inicia en el punto A, el cual corresponde a la presión de poros a la profundidad final.
- Seguidamente se realiza un desplazamiento verticalmente hacia arriba hasta interceptar la curva de presión de fractura o la misma de presión de poros, esto dependerá del comportamiento de ambos perfiles. En el caso del ejemplo se intercepta la curva de presión de fractura, en el punto B, realmente el margen de seguridad del perfil de presión de fractura.
- Posteriormente se realiza el desplazamiento horizontal desde el punto B hasta interceptar el margen de seguridad de la presión de poros, en el punto C.
- Este procedimiento se repite hasta llegar a superficie. En cada intercepción se va generando un punto de asentamiento de revestidor. (Molero, 2008)

El criterio que domina al seleccionar grandes profundidades para asentar el revestidor es permitir que los pesos del lodo controlen las presiones de la formación sin fracturar las formaciones someras de menor presión. Este procedimiento se debería aplicar desde el fondo hacia arriba. Una vez

determinadas las profundidades, deberían valer otras consideraciones como la pega diferencial. Las presiones que se deben tomar en cuenta incluyen:

- Un margen de viaje para el peso del lodo, para controlar las presiones de suabeo.
- Un aumento equivalente del peso del lodo debido a los aumentos de presión que se generan mientras se corre el revestidor y un factor de seguridad.
- El margen total puede ser de hasta 0,5 Lb/gal o más. La presión real y su margen no pueden exceder el menor gradiente de fractura de exposición sin identificar una profundidad de asentamiento.
- Se deben hacer todas las verificaciones necesarias para evitar pega diferencial en la bajada del revestidor y la capacidad de la zapata anterior para soportar las presiones de posibles arremetidas durante la operación. Muchas de estas verificaciones se hacen por ensayo y error.
- Para alcanzar la profundidad final del pozo, se selecciona la densidad del fluido de perforación para cada profundidad, con la finalidad de evitar el flujo de fluidos desde la formación hacia el pozo, es decir, para prevenir una arremetida. (Molero, 2008).



**Figura 2.5 Selección de profundidad de asentamiento**

Fuente: Molero (2008)

### 2.3.9 Problemas operacionales durante la perforación

La productividad de un pozo y su futura vida productiva se verán afectadas por los trabajos realizados durante la misma. Una buena planificación y prácticas de perforación apropiadas son los factores claves para evitar los principales problemas operacionales que puedan ocurrir en ella. Por lo tanto, deben estudiarse cuidadosamente cuáles son los problemas operacionales que pudiesen llegar a ocurrir y los factores que contribuyan a la creación de dichos problemas, para de esta manera evitarlos a futuro y reducir el tiempo no productivo. Los problemas más comunes son los siguientes:

- **Derrumbes mecánicos:** la estabilidad del pozo depende del equilibrio entre los factores mecánicos (presión y esfuerzo) y los factores químicos. La composición química y las propiedades del fluido de perforación deben combinarse para proporcionar la estabilidad del pozo hasta que se pueda introducir y cementar la tubería de revestimiento. La inestabilidad del pozo se identifica por el derrumbe de la formación, causando la reducción del hoyo, lo cual requiere generalmente el ensanchamiento del pozo hasta la profundidad original.
- **Apoyos:** el ensanchamiento de una formación inestable encima o debajo de una formación más estable, causa un hoyo excéntrico, donde la tubería tiende a descansar o apoyarse. Los apoyos pueden formarse por: formaciones intercaladas, capas de formaciones que reaccionan de manera diferente con fluidos de perforación. Los cambios de ángulo/dirección del hoyo en la zona inestable hacen que la mecha, estabilizadores y herramientas de cruce (cross-overs), se incrusten en las paredes de los pozos.

- **Arrastres:** este problema se observa a la hora de sacar la sarta de perforación, al sentirse un peso mayor que puede ser indicio de algún colapso en las paredes del hoyo, es decir, es la resistencia friccional al movimiento entre dos superficies en contacto forzado.
- **Corte del fluido de perforación por gas:** un influjo pequeño del fondo del pozo puede cortar bruscamente el fluido en la superficie debido a la naturaleza compresible del gas que causa una gran expansión cerca de la superficie.
- **Embolamiento de mechas y estabilizadores:** consiste en la pérdida de funcionalidad tanto de los estabilizadores, como de la mecha, las cuales dejan de circular lodo. Tales problemas suelen ocurrir en presencia de arcillas altamente reactivas, retrasando de manera considerable las labores de perforación.
- **Pérdida de circulación:** también denominada pérdida de retorno, consiste en la pérdida total o parcial del fluido de perforación que se dirige a las formaciones del subsuelo, generando así un mayor impacto sobre las operaciones de perforación.
- **Alto torque:** es cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido; el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que se denomina torque o momento de la fuerza. Ocurre cuando la sarta de perforación tiene excesivas revoluciones y ésta tiende a perder su capacidad de torque, debido a sobrepasar el límite permisible dado por el fabricante.
- **Pesca:** es toda operación que tiene por finalidad la recuperación de los objetos extraños que se quedaron dentro del pozo durante los trabajos de perforación. En la industria petrolera, pescar se refiere a la

aplicación de herramientas, equipos y tecnología para la remoción de desperdicios o cosas indeseables en un pozo.

- **Taponamiento:** este tipo de problema puede darse por hinchamiento o migración de arcillas o por incrustaciones de carbonatos. A medida que se hinchan las arcillas, estos se separan en pequeñas partículas que caen dentro del pozo, generando arrastres e incrementándose al hacer conexiones, con pegas de tubería.
- **Pega de tubería:** un gran porcentaje de los casos de pega de tubería terminan exigiendo que se desvíe la trayectoria del pozo. En general, la tubería se pega mecánica o diferencialmente. La pegadura mecánica es causada por una obstrucción o restricción física. Mientras que la pegadura por presión diferencial, es causada por las fuerzas de presión diferencial de una columna de lodo sobrebalanceada que actúa sobre la columna de perforación contra un revoque depositado en una formación permeable. (Salas, 2010).

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Grado de la tubería de revestimiento:** es un sistema de identificación y categorización de la resistencia de los materiales de las tuberías de revestimiento. (Schlumberger Oilfield Glossary, 2021).

**Presión de colapso:** esta presión se genera por la columna de lodo de perforación que llena el espacio anular y que actúa sobre el exterior del revestidor vacío. (Schlumberger Oilfield Glossary, 2021).

**Presión de fractura:** se trata de la fuerza por unidad de área necesaria para vencer la presión de formación y la resistencia de la roca. (Molero, 2008, p.57)

**Presión de poro:** es la presión que ejerce un fluido en los espacios porosos de la roca. También se le conoce como presión de formación o presión poral, está en función de los fluidos de formación y de las cargas que están soportando. (Molero, 2008, p.58)

**Presión de sobrecarga:** es la presión ejercida por el peso combinado de la matriz de la roca y los fluidos contenidos en los espacios porosos de la misma (agua e hidrocarburos). (Molero, 2008, p.58)

**Sarta de revestimiento:** es una sección armada de tubería de acero, configurada para adecuarse a un pozo específico. Las secciones de tubería se conectan y se bajan en un pozo para luego cementarse en su lugar. (Schlumberger Oilfield Glossary, 2021)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.13.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación fue de tipo descriptivo, debido a que comprendió la recopilación de información de los pozos pertenecientes al campo El Roblote del Distrito Gas Anaco, a fin de analizar toda la información geológica, de yacimientos y los problemas operacionales ocurridos durante la perforación, para posteriormente establecer el esquema óptimo de revestidores a utilizar en los próximos pozos a perforar en el área, mediante el uso de simuladores.

Arias (2012) señala que:

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p. 24)

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

El estudio se considera documental, porque se basó principalmente en la revisión de información relacionada a la etapa de perforación de los pozos del campo El Roblote, mediante las carpetas de pozos, bases de datos corporativas e informes del área en estudio. Arias (2012) señala que la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos

secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales”. (p.27).

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Para el cumplimiento de los objetivos se planteó como población y muestra los seis (6) pozos perforados en el campo El Roblote, ubicado al norte del Área Mayor de Anaco en el estado Anzoátegui.

Arias (2012) señala que: “la población, o en términos más precisos, población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.” (p.81) e igualmente señala que “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible (p.83). En este caso se tomó como muestra el 100% de la población.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.4.1 Descripción de los problemas operacionales ocurridos durante la perforación de los pozos ubicados en el Campo El Roblote**

La primera fase de este trabajo de investigación consistió en la recopilación y validación de la información, comprendiendo la búsqueda de los datos que se requieren para realizar un diseño de revestimiento, mediante consulta en libros de texto, trabajos de grado, publicaciones de la SPE, cursos, manuales de PDVSA, informes técnicos y páginas web relacionadas con las áreas especificadas en este trabajo. Se realizó una búsqueda de información relacionada con las propiedades de los materiales de tuberías, así como sus respectivas dimensiones, estableciendo los

factores y consideraciones para la clasificación y el diseño de los mismos. Se revisaron los datos geológicos, mediante mapas estructurales, secciones sísmicas, registros eléctricos (Gamma Ray, Caliper, densidad, resistividad, sónico), información de pozos vecinos (registros de desviación, sumarios diarios de operaciones, sumario de fluidos), datos de presiones actuales de yacimientos (BHP, pruebas de formación).

Se revisaron los reportes operacionales de los pozos perforados en el área con la finalidad de identificar los eventos operacionales indeseados ocurridos durante su perforación, mediante las bases corporativas de la empresa (COPYR), se elaboraron fichas con el resumen de perforación de los pozos y gráficos de frecuencia de los eventos operacionales observados, a través de la herramienta Microsoft Excel.

### **3.4.2 Selección de las profundidades de asentamiento, diámetros de hoyo y revestidores, mediante el análisis de presiones de los pozos ubicados en el área**

En primer lugar, se calcularon las geopresiones, determinando el esfuerzo de sobrecarga, la presión de poro y gradiente de fractura de la formación; haciendo uso de registros eléctricos (Gamma Ray, Caliper, Densidad, Resistivo y Sónico), esquemas mecánicos, columnas estratigráficas, datos de pozos adyacentes y puntos de presión (RFT), utilizando el programa Drillworks Predict de la Plataforma Landmark.

La presión de poro se estimó mediante el método de Eaton y se determinaron los topes estratigráficos para conocer la profundidad y espesor de cada nivel de la columna estratigráfica. Posteriormente, se estimó las

presiones de fractura, empleando la correlación de Matthews y Kelly, definida por la expresión matemática que se muestra a continuación:

$$P_f = P_p + (S_v + P_p) * K_i \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

$P_f$  : Presión de fractura, en libras por galón, lpg

$P_p$  : Presión de poros, lpg

$S_v$  : Esfuerzo de sobrecarga, lpg

$K_i$  : Coeficiente de esfuerzo de la matriz

Es importante mencionar que para llevar a cabo las estimaciones descritas anteriormente se utilizaron los registros eléctricos: Gamma Ray, Caliper, Densidad, Resistividad y Sónico, data validada con el personal correspondiente de PDVSA.

### **3.4.3 Establecimiento del diseño óptimo de revestidores mediante los simuladores CasingSeat y StressCheck**

Para el desarrollo de este objetivo se determinaron los puntos de asentamientos de los revestidores, así como los diámetros del hoyo y revestidores, utilizando el programa de simulación CasingSeat, utilizando datos de la trayectoria de los pozos, valores de presión de poro y gradiente de fractura. Los valores de presión de poro y gradiente de fractura, fueron obtenidos por el programa DRILLWORK PREDICT y corregidos, antes de ser usados en el CasingSeat, mediante correlaciones con las formaciones a través de los RFT de los pozos vecinos.

Una vez obtenido los diferentes casos posibles del diseño de los hoyos proporcionados a través del programa de simulación CasingSeat, se procedió a diseñar los revestidores con el uso del programa StressCheck de acuerdo a la capacidad de resistencia y esfuerzos a los que serán sometidos (estallido, colapso, tensión y triaxiales), con la finalidad de obtener un diseño óptimo y económico. Adicionalmente, se tomó en consideración el rango del peso del lodo previsto en el objetivo anterior para establecer el esquema de acuerdo a los puntos de asentamiento y el peso del lodo a emplear en cada fase.

Una vez evaluado los resultados obtenidos de las simulaciones con DRILLWORK PREDICT, CasingSeat y StressCheck, se estableció el mejor diseño de revestidores para los pozos del campo El Roblote, considerando adicionalmente la experiencia operacional y diseño de pozos vecinos como referencia para la colocación de los revestidores en las diferentes formaciones. Se utilizó la secuencia de diámetros de los revestidores y mechas de acuerdo a la API y se realizó una comparación tomando en cuenta el esquema actual empleado en el campo de interés y la propuesta realizada en el presente trabajo de investigación.

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

#### **3.5.1 Técnicas**

Según lo expresa Arias (2012) “se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.” (p.67). Este trabajo fue desarrollado bajo un diseño de investigación documental, utilizando las técnicas de análisis documental y análisis de contenido. Se basó en la búsqueda de información en libros,

reportes operacionales de perforación, carpetas de pozos, manuales de operaciones, tesis y documentos, así como información encontrada en páginas de internet e información suministrada por la Gerencia de Perforación de PDVSA del Distrito Gas Anaco.

### **3.5.2 Instrumentos**

Arias (2012) establece que: “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (p. 68).

En el desarrollo de este trabajo se utilizó computadoras, conexión a internet y dispositivos de almacenamiento de información.

## **3.6 RECURSOS**

### **3.6.1 Recursos humanos**

Se contó con la asesoría de profesores que integran el Departamento de Ingeniería de Petróleo en la Universidad de Oriente Núcleo-Monagas, como también ingenieros del área de perforación del Distrito Gas Anaco, para la recaudación de información.

### **3.6.2 Recursos financieros**

Todos los recursos económicos necesarios para el desarrollo de este proyecto fueron asumidos por los investigadores.

### **3.6.3 Recursos tecnológicos y de información**

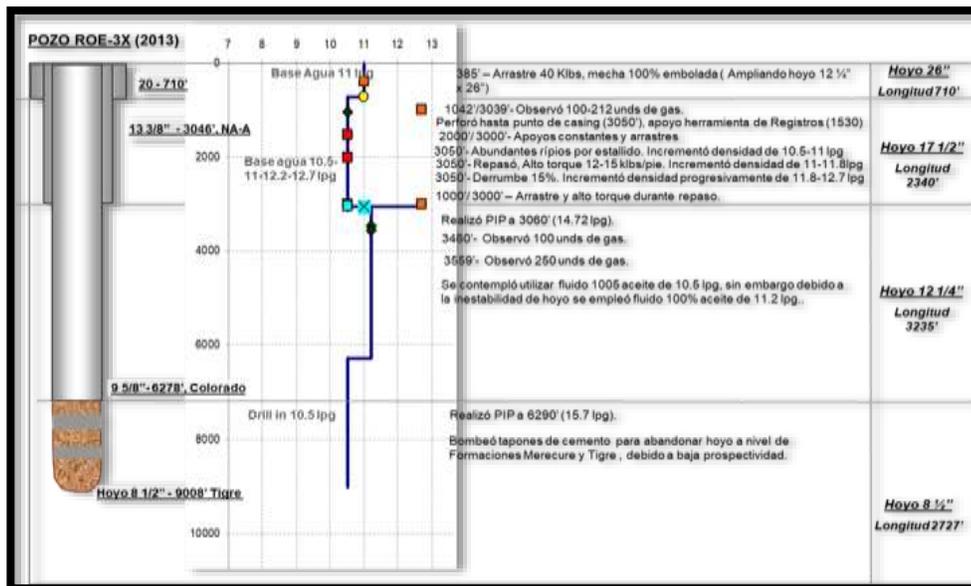
Para el desarrollo del trabajo se utilizaron equipos de oficina como papel, impresoras, computadoras; aplicaciones utilizadas bajo los ambientes Windows tales como: Microsoft Word y Excel, Acrobat Reader, navegador web Google Chrome, acceso a internet y simuladores para el diseño de revestidores (DRILLWORK PREDICT, CasingSeat y StressCheck). Además, se recurrió a trabajos de grado (tesis), manuales de operaciones, bases de datos corporativas de PDVSA (WEBCHANNELS y DIMS) para la recolección de información.

## CAPÍTULO IV

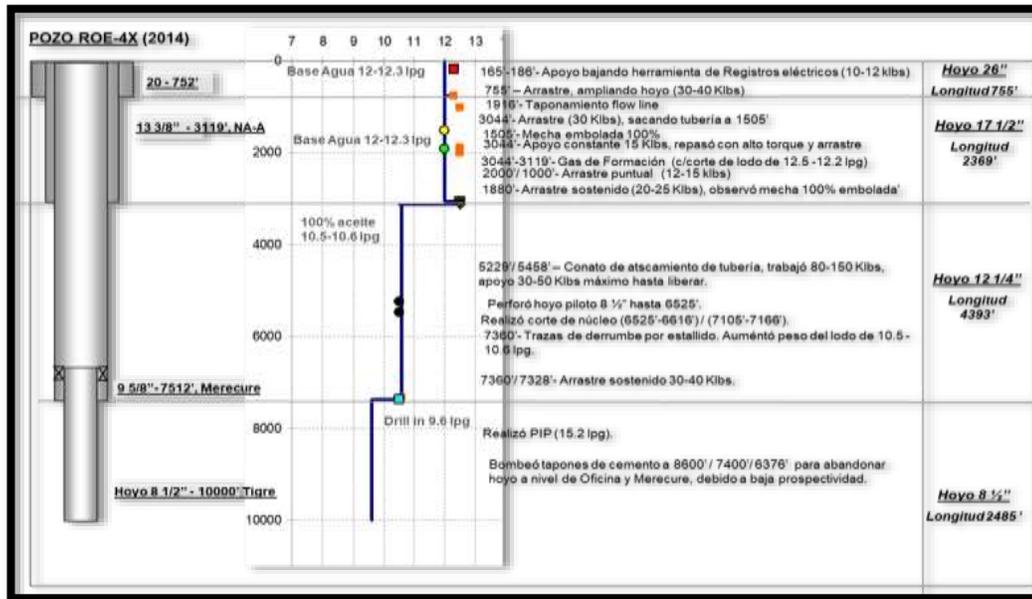
### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES OCURRIDOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS UBICADOS EN EL CAMPO EL ROBLOTE

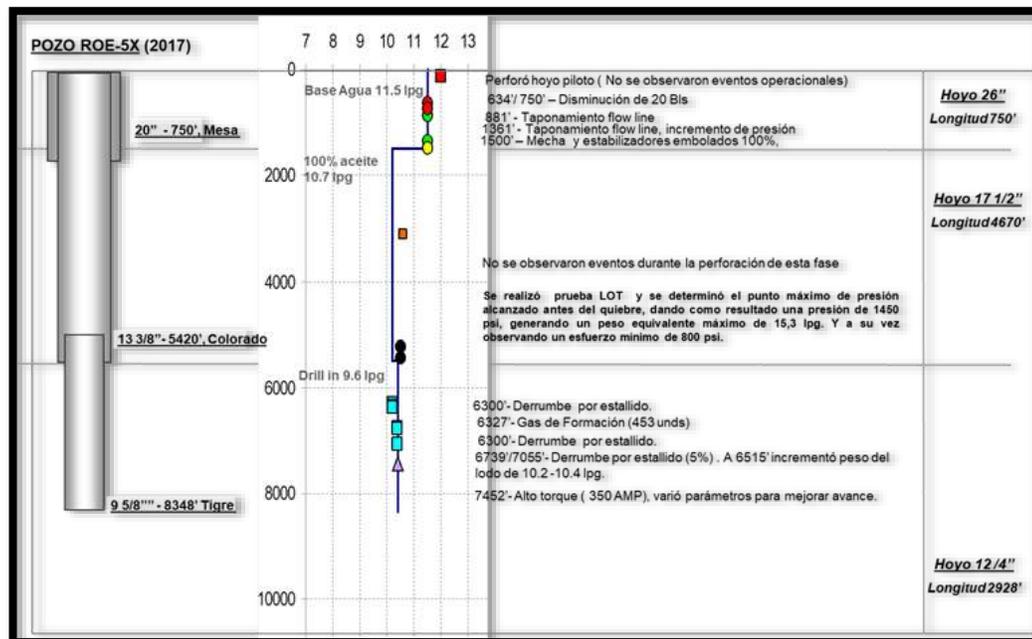
En esta primera fase del trabajo, se procedió a la recopilación de la información relacionada a los problemas operacionales ocurridos durante la etapa de perforación de los pozos seleccionados en la muestra, los cuales son: ROE-1X, ROE-2, ROE-3X, ROE-4X, ROE-5X y ROE-6. Con la información obtenida de los reportes operacionales de los pozos del área, se realizó una ficha que permitió el análisis estadístico de las frecuencias de estos eventos operacionales. (Figuras del 4.1 al 4.4).



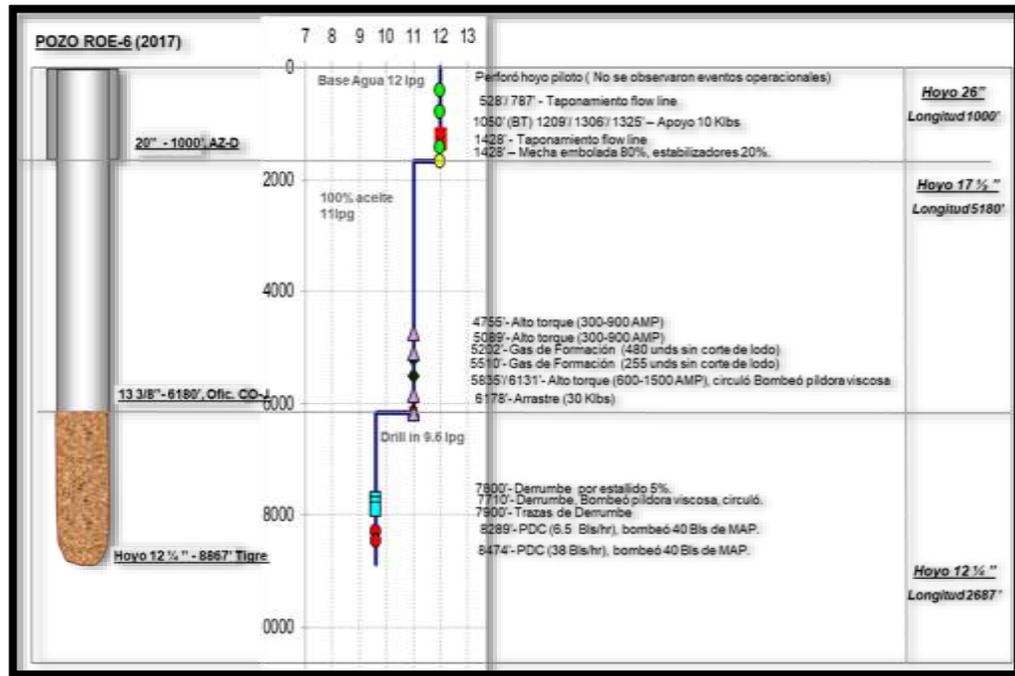
**Figura 4.1 Ficha del Pozo ROE-3X**  
Fuente: PDVSA (2022)



**Figura 4.2 Ficha del Pozo ROE-4X**  
Fuente: PDVSA (2022)



**Figura 4.3 Ficha del Pozo ROE-5X**  
Fuente: PDVSA (2022)



**Figura 4.4 Ficha del Pozo ROE-6**  
Fuente: PDVSA (2022)

Una vez realizada las fichas, se cuantificaron los problemas operacionales observados con la finalidad de identificar por pozo el porcentaje de incidencia de dichos eventos (donde se contaba con la información).

**Tabla 4.1 Problemas operacionales en los pozos en estudio**

Problemas Operacionales	Pozo ROE-3X	Pozo ROE-4X	Pozo ROE-5X	Pozo ROE-6
Arrastre (%)	25	40	0	7
Gas de Formación (%)	25	10	11	14
Derrumbe (%)	17	0	0	0
Apoyos (%)	16	30	0	7
Alto Torque (%)	17	0	11	22
Embolamiento (%)	0	10	33	14
Derrumbe (%)	0	10	34	22
PDC (%)			11	14
Total (%)	100	100	100	100

Fuente: PDVSA (2022)

En la tabla N° 4.1, puede observarse que los eventos operacionales con mayor incidencia en el pozo ROE-3x son los arrastres de las tuberías con un 25%, los cuales se manifiestan cuando se está sacando la sarta del hoyo, producto de la inestabilidad, seguido, del aporte de gas de las formaciones, las cuales provocan disminución en la densidad del fluido de perforación.

Con respecto a los eventos indeseados ocurridos durante la perforación del pozo ROE-4X, el predominante son los arrastres de tubería con un 40%, posiblemente atribuido a la presencia de arcillas plásticas que generan inestabilidad en el hoyo. Dentro de las prácticas operacionales empleadas para disminuir la ocurrencia de dicho evento se tiene la formulación del fluido óptima con una alta capacidad inhibitoria capaz de minimizar el hinchamiento de las arcillas presentes en la columna estratigráfica. En formaciones más consolidadas, se incrementa la densidad del fluido para mitigar este problema durante la perforación y proporcionar estabilidad al hoyo.

Para el pozo ROE-5X, el evento operacional observado en mayor proporción es el derrumbe de la formación con un 34%, esto es una señal clara que existe inestabilidad en el hoyo. La acción tomada fue el incremento de la densidad del fluido de perforación para minimizar su ocurrencia.

Por último, al revisar la historia del pozo ROE-6 y cuantificar los eventos operacionales, se determinó al igual que en el pozo ROE-5X que el evento predominante es el derrumbe de las formaciones con un 22%.

Posteriormente, se elaboró un gráfico integrando los eventos operacionales de todos los pozos seleccionados para el estudio, con la finalidad de tener una visión global del campo. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura N° 4.5.



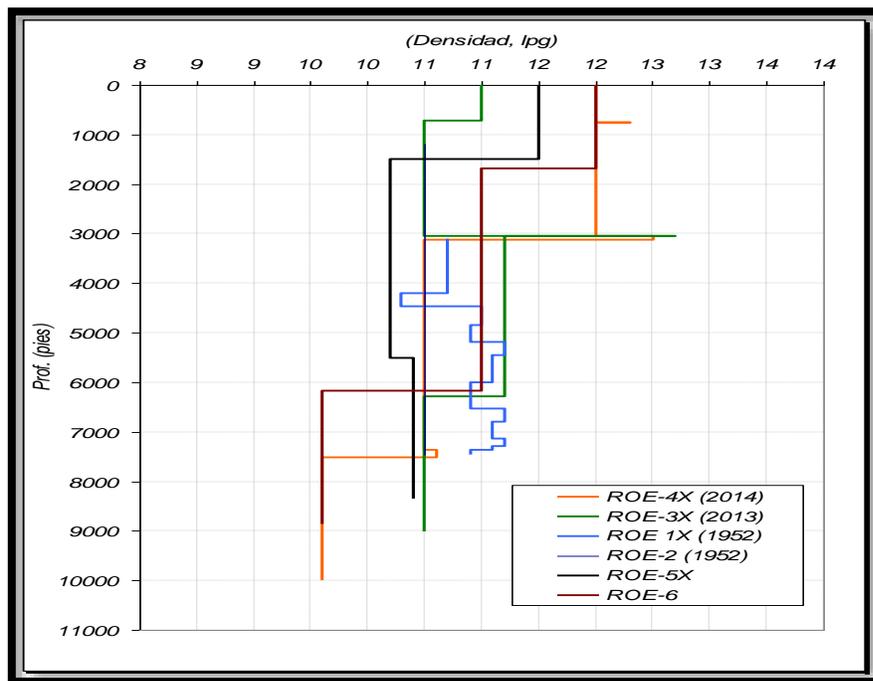
**Figura 4.5 Problemas operacionales del campo El Roblote**

Los eventos operacionales ocurridos con mayor incidencia en orden de importancia son los derrumbes de formación y arrastres de la tubería, por lo que uno de los puntos claves determinantes en la optimización del diseño de pozos en este campo, es la formulación del fluido de perforación y sus características, con la finalidad de mantener la estabilidad en las paredes del hoyo.

La zona donde se evidenció en gran parte arrastre de la sarta de perforación es la superficial, por lo que es imperante mantener una buena capacidad inhibitoria del fluido para minimizar el hinchamiento de las arcillas producto de la interacción con el fluido de perforación. Es importante mencionar que el tipo de fluido utilizado para la perforación de la formación a nivel superficial es base agua con la finalidad de proteger los mantos acuíferos. De acuerdo a la revisión de la experiencia de los pozos de esta área, no existe un riesgo de canalización de gas superficial, y considerando

la última profundidad de los acuíferos existe la posibilidad de profundizar el asentamiento del primer revestidor.

Con la idea de cubrir y analizar todas las aristas involucradas en el diseño de tuberías de revestimiento y su optimización, se revisaron y analizaron las densidades de los fluidos de perforación empleadas en todos los pozos, mostrándose en la siguiente figura las densidades en función a la profundidad, con valores entre 10 y 13 Lb/gal.



**Figura 4.6 Densidad del fluido de perforación usado en los pozos**  
Fuente: PDVSA (2022)

## 4.2 SELECCIÓN DE LAS PROFUNDIDADES DE ASENTAMIENTO, DIÁMETROS DE HOYO Y REVESTIDORES, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PRESIONES DE LOS POZOS UBICADOS EN EL ÁREA

### 4.2.1 Análisis de geopresiones

El cálculo de las geopresiones (presión de poro y fractura) es una actividad previa que se debe realizar para poder definir las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento. Para ello, se estimó el esfuerzo de sobrecarga, la presión de poros y la presión de fractura, mediante simulación y su respectivo análisis en los pozos ROE- 3X y ROE- 4X.

El primer criterio que debe verificarse al momento de realizar la estimación de la presión de poros es la validación de la existencia de presiones anormales en las lutitas que se deben atravesar al perforar la columna estratigráfica. La forma de realizar dicha validación es analizando el perfil de velocidad de la onda compresional en el perfil sónico o de velocidad interválica (Ver Figura N° 4.7).

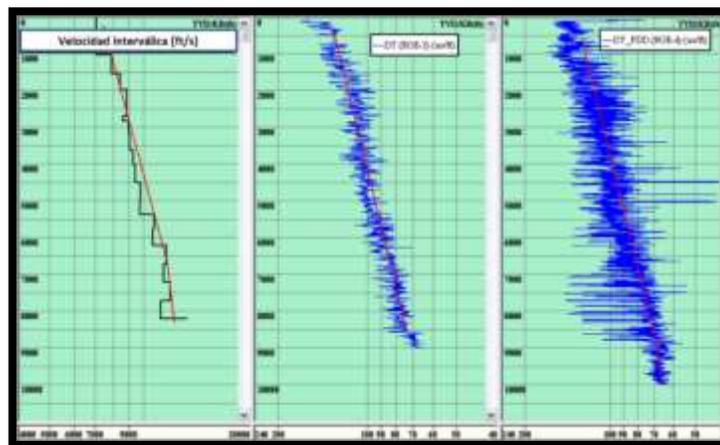


Figura 4.7 Perfil de Velocidad Interválica

Es importante acotar que en zonas con gradiente normal el comportamiento de la velocidad es directamente proporcional a la profundidad. Las formaciones con gradientes de presión de poro entre 0,433 lpc/pie (agua dulce) y 0,465 lpc/pie (agua salada) se conocen comúnmente como “normalmente presurizadas”.(Devereux, 1997)

De acuerdo a la revisión en las bases de datos, registros e informes operacionales de la empresa (PDVSA, 2022), se observaron valores de 8,4 lpg (0,437 lpc/pie) para las lutitas, y se estimaron los topes estratigráficos para conocer la profundidad y espesor de cada nivel de la columna estratigráfica, donde se evidenció una alternancia de areniscas y lutitas en gran proporción.

En la Figura N° 4.8 se muestra el análisis del pozo ROE-4X, donde se consideró un gradiente de presión normal para las lutitas para la estimación de las presiones de poro, ya que se observó una tendencia normal en el tiempo de tránsito (Dt) del registro sísmico.

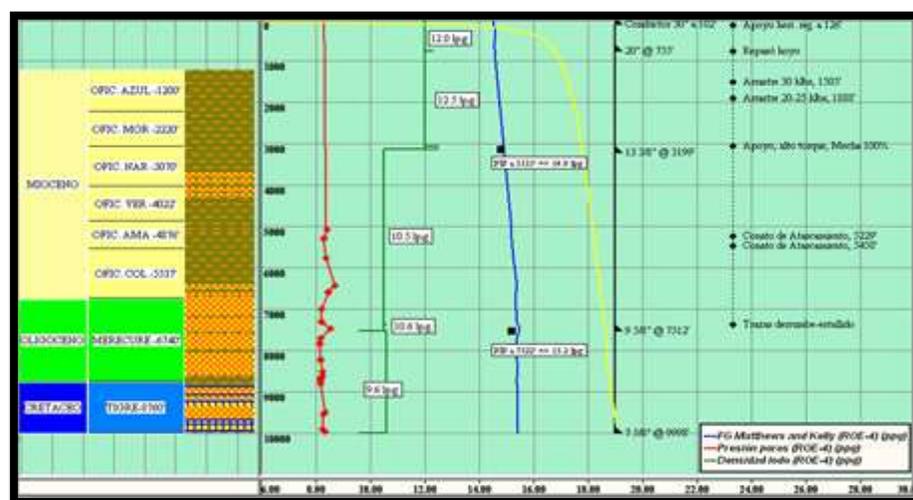
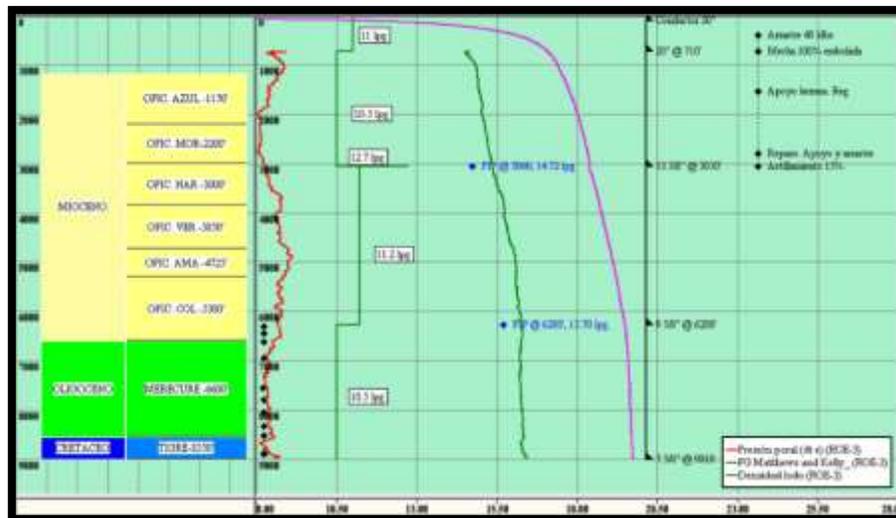


Figura 4.8 Estimación de geopresiones del pozo ROE-4X

Los puntos de presión tomados en el pozo sirvieron de soporte para calibrar la curva en los intervalos correspondientes a areniscas (Colorado y Merecure). La presión de fractura se estimó mediante la correlación de Matthews & Kelly y fue ajustada con los dos pruebas de integridad de presión (PIP) realizadas en el pozo.

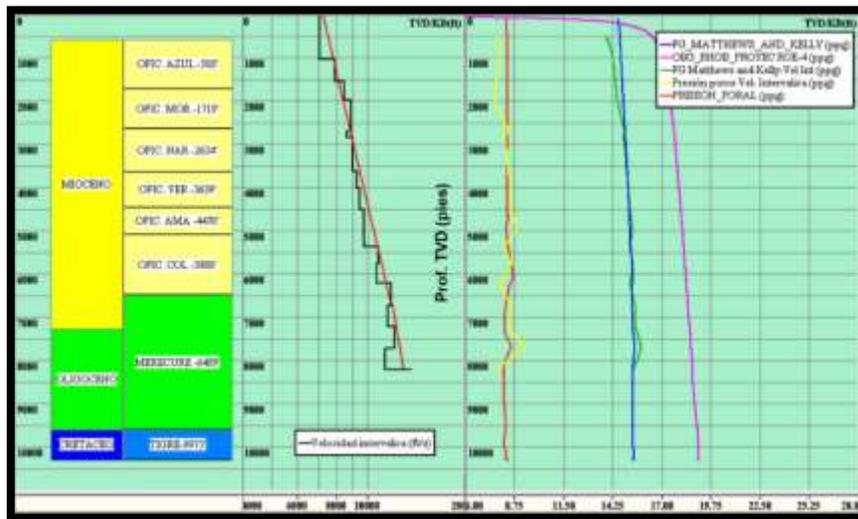
Posteriormente, en la Figura N°4.9, se observan los resultados obtenidos en la simulación del pozo ROE-3X (10,5 a 12,7 lpg). Se consideraron los mismos criterios del pozo anterior, sin embargo, la diferencia entre el estudio de ambos pozos radica en la información empleada, dado que para el pozo ROE-4X se utilizó el registro acústico disponible, mientras que para el pozo ROE-3X se empleó el registro de resistividad.



**Figura 4.9 Estimación de geopresiones del pozo ROE-3X**

Una vez realizadas las simulaciones previamente descritas, se obtuvieron perfiles de presión de poros y fractura de dos maneras. Primero, mediante una extrapolación (*top tables-predit*) desde el pozo ROE-4. Esta

técnica se puede utilizar para obtener una buena referencia de las presiones, considerando que no existen fallas importantes o altos buzamientos y el segundo perfil de poros estimado a partir de las velocidades interválicas. En ambos casos se obtuvieron resultados similares (Ver Figura N° 4.10).



**Figura 4.10 Perfiles de presión de poros y fractura campo El Roblote**

La presión de fractura se estimó mediante la correlación de Matthews & Kelly y para la calibración se tomaron en cuenta las pérdidas de circulación observadas en pozos vecinos. Además, se consideraron los valores obtenidos en PIP realizadas en los pozos ROE 3X y ROE-4X.

#### **4.2.2 Profundidad de asentamiento y diámetros de hoyo y tubería de revestimiento**

La longitud o profundidad de cada sección fue precisada de acuerdo al perfil de presiones estimado y los problemas operacionales observados en las historias de perforación de los pozos adyacentes. A continuación, se

describen las premisas y consideraciones tomadas en cuenta para esta actividad.

- **Primera fase, hoyo superficial**

Según la experiencia de los pozos del campo la mayor profundidad observada ha sido 1158 pies en el pozo ROE-2, donde se asentó un revestidor de 9 5/8 pulgadas, es importante mencionar que este pozo fue perforado en el año 1952. Por otro lado, en el pozo ROE-6 perforado en el año 2017 el revestidor superficial con diámetro 20 pulgadas fue asentado a 1000 pies. Dado estos antecedentes, y por criterios operacionales se plantea la posibilidad de asentar el revestidor de superficie a la profundidad de 1500 pies, lo cual cumple con el criterio que establece cubrir y proteger los mantos de agua superficiales, además que servirá de soporte para el preventor anular y desviador de flujo.

De acuerdo a la perforación de pozos en el área, a 1500 pies se tiene la integridad de la formación necesaria para resistir la máxima presión de cierre del anular, en caso de influjo durante la perforación del siguiente hoyo. Esto debido a que no existe un posible riesgo de pérdida de circulación e influjo, situación que es difícil de controlar. Fue verificado el margen de arremetida, considerando la posibilidad que ocurra una arremetida al final de la siguiente fase. Para ello, se calculó la presión que se ejercería a nivel de la zapata a la hora cierre para controlar el pozo. Este valor es comparado con la presión de fractura a nivel de la zapata (a 1500 pies). Es importante mencionar que el Manual de PDVSA, considera para pozos de desarrollo la magnitud del posible influjo de 0.5 lpg con 50 bbls de ganancia.

La presión de arremetida expresada en densidad equivalente, se calcula mediante la ecuación 4.1.

$$P_{influj o} = \left( \frac{Prof\ influj o}{Prof\ zapata} * \Delta M \right) + \rho_{Lo} \quad (Ec. 4.1)$$

Donde:

*Prof influj o*: 6360 pies

*Prof zapata*: 1500 pies

$\rho_{Lo}$ : Densidad del lodo propuesta 2da fase: 11,0 lpg

$\Delta M$ : Intensidad del inj ujo: 0.5 lpg

*P<sub>inluj o</sub>*: Presión inj ujo expresada en densidad equivalente.

La presión obtenida en el cálculo es de 13,12 lpg, cuyo valor es menor que la presión de fractura (14,5 lpg) considerando el margen de seguridad de 0.3 lpg.

La densidad del fluido de perforación propuesta es 12 lpg, escogida según la experiencia de los pozos cercanos. Con esta densidad se mitigaría el posible riesgo de inj ujo por presencia de gas superficial, aun cuando se ha verificado que no existe antecedente de esta condición en los pozos del área e igualmente garantizar las propiedades reológicas del fluido que permitan mantener parámetros hidráulicos óptimas para una efectiva limpieza del hoyo.

- **Segunda fase, hoyo intermedio**

Para esta fase se propone asentar el segundo revestidor a la profundidad de 6360 pies en la Formación Merecure con la finalidad de cubrir

zonas arcillosas y de esta manera evitar los eventos operacionales de derrumbes de la formación y arrastres de la sarta de perforación, lo cual está directamente relacionado a la inestabilidad de hoyo. De acuerdo a la revisión realizada de los esquemas mecánicos de pozos en el campo, el revestidor intermedio se ha asentado a nivel de la Formación Oficina en los Miembros Naranja y Colorado (intermedio).

Se verificó el límite de atascamiento diferencial, aplicando la ecuación 4,2, donde el diferencial de presión entre el fluido de perforación y la menor presión de la fase, no debe exceder de 3000 lpc.

$$\Delta p = 0.052 * (\rho_l - P_p) * TVD \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Donde:

$\Delta p$  : Diferencial de presión, lpc

$\rho_l$  : Densidad del fluido de perforación, lpg

$P_p$  : Menor presión de poros de la fase, lpg

$TVD$ : Profundidad arena del nivel de menor presión, pies

La densidad del fluido de perforación se fijó de acuerdo a la presión actual de los yacimientos y a la experiencia operacional de los pozos perforados anteriormente en el campo.

De acuerdo a las simulaciones realizadas y criterios operacionales del área de perforación, se propone profundizar un poco más el asentamiento del revestidor intermedio hasta alcanzar la Formación Merecure, considerando que no se presentaría problemas de arremetida ni colapso a nivel de la zapata del revestidor superficial.

En este sentido, se mantiene la propuesta de asentar el revestidor intermedio en la Formación Merecure y perforar esta sección utilizando un fluido 100% aceite mineral con densidad de 10,7 a 11 lpg.

- **Tercera fase, hoyo productor**

En la última fase se propone perforar con una densidad de 9,6 a 9,8 lpg, en un hoyo de 8 ½ pulgadas, con un revestidor de 7 pulgadas. La profundidad de asentamiento de este revestidor está limitada por la profundidad final establecida (9201 pies).

**Tabla 4.2 Datos de la sección productora**

Datos del pozo				
Profundidad medida	Diámetro de hoyo	Diámetro liner	Fluido de perforación	Temperatura de fondo
9201 pies	8 1/2 pulg	7 pulg	Base aceite de 9.6 lpg	265 °F
Casos cargas del revestidor				
Estallido	Colapso		Carga axial	
Prueba de presión	Vacío total - producción		Peso del revestidor	
Fuga de la tubería de producción	-		Carga de choque	
Fuga en estimulación a través de la tubería de producción	-		-	
Estimulación a través del revestidor	-		-	
Perfil externo:	Perfil externo:		Sobretensión:	
Gradiente agua	Gradiente de lodo		200 klbs	

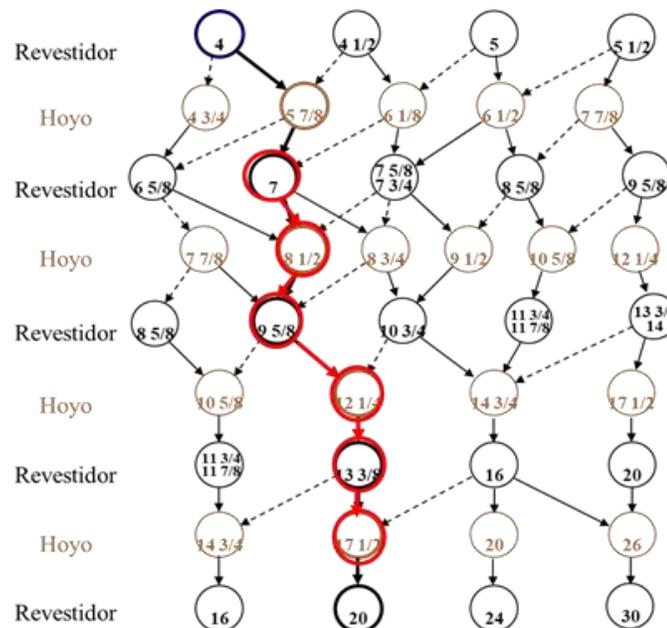
#### 4.2.3 Selección de Diámetro de hoyo/revestidor

El criterio principal empleado para definir el diámetro de las tuberías de revestimiento es que cada revestidor pueda contener al otro, sin afectar los diámetros nominales referidos en la norma API, realizando la selección desde el fondo hasta superficie. Una vez escogidas las profundidades de asentamiento de tuberías revestidores se inicia la escogencia de diámetro

tanto de hoyo como de las tuberías de revestimiento, que sean más convenientes para cada caso (Molero, 2008).

Para el diseño de revestidores propuesto, se tomó en cuenta trabajos futuros de rehabilitación de pozos, de cañoneo y producción de otras arenas y de abandono del pozo. Se plantea el cambio de diámetro de hoyo con respecto al diseño aplicado en los pozos del área (de acuerdo a sugerencia de la Gerencia de Perforación), de 26 a 17 1/2 pulgadas correspondiente a la primera fase de perforación con el objetivo de reducir la volumetría del hoyo perforado y por ende reducir volumen de fluido de perforación, cementación, manejo de rípios, entre otros aspectos lo cual se traduce en una reducción de los costos y de esta forma asentar un revestidor de 13 3/8 pulgadas en lugar de 20 pulgadas.

De igual manera se realiza el estudio para la segunda fase donde se plantea correr un revestidor intermedio cambiando de diámetro de tubería de 13 3/8 a 9 5/8 de pulgadas y el cambio de diámetro de hoyo correspondiente de 17 1/2 a 12 1/4 pulgadas y por último se propone mantener el diámetro de la última fase considerada como productora con un diámetro del hoyo de 8 1/2 pulgadas, pero en lugar de bajar un revestidor de 7 5/8 pulgadas, utilizar una tubería de diámetro 7 pulgadas. En la Figura N° 4.11 se muestra gráficamente la selección de diámetros de hoyos y de revestidores escogidos para el nuevo diseño de pozos en este campo.



**Figura 4.11 Selección de diámetros de hoyo/revestidores**

Fuente: PDVSA (1998)

En resumen, en la Tabla N° 4.1 se muestra las profundidades de asentamiento y diámetros de hoyo y revestidores propuestos.

**Tabla 4.2 Fases de hoyo/Revestidores campo El Roblote**

Fase	Prof. (pies)	Diámetro hoyo (pulg)	Diámetro de revestidor (pulg)	Densidad del fluido (lpg)	Arena	Temp Fondo (°F)
Superficial	1500	17 ½	13 3/8	Agua 12	AZI	110
Intermedia	6360	12 ¼	9 5/8	Aceite 11.0	Merecure	205
Productora	9201	8 ½	7	Aceite 9.6	Tigre	265

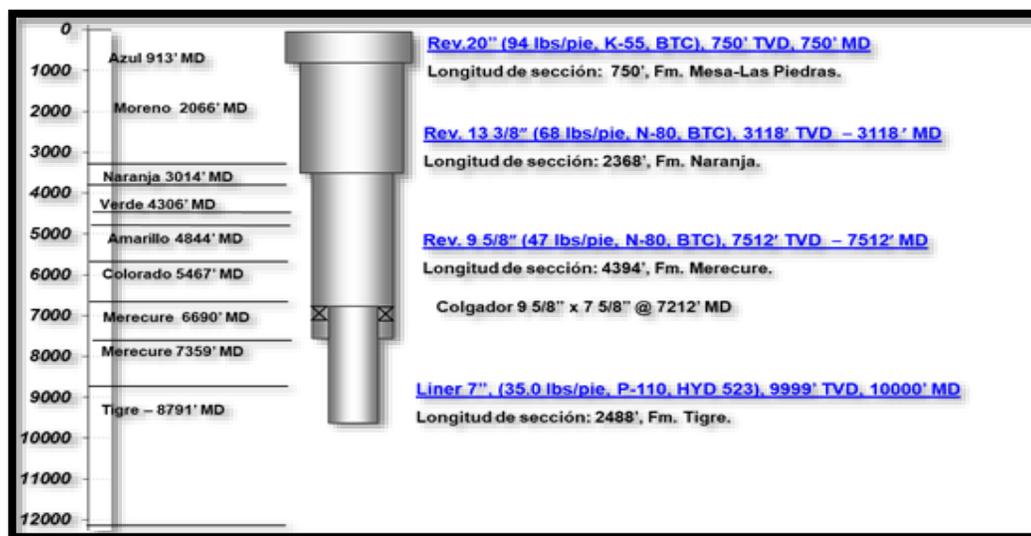
Una vez definidos los casos carga a considerar para cada revestidor, explicados en el Manual de Diseño de Revestidores desarrollado por PDVSA-INTEVEP, se procedió a realizar la carga de información en la

aplicación Stress Check con la finalidad de realizar las simulaciones respectivas.

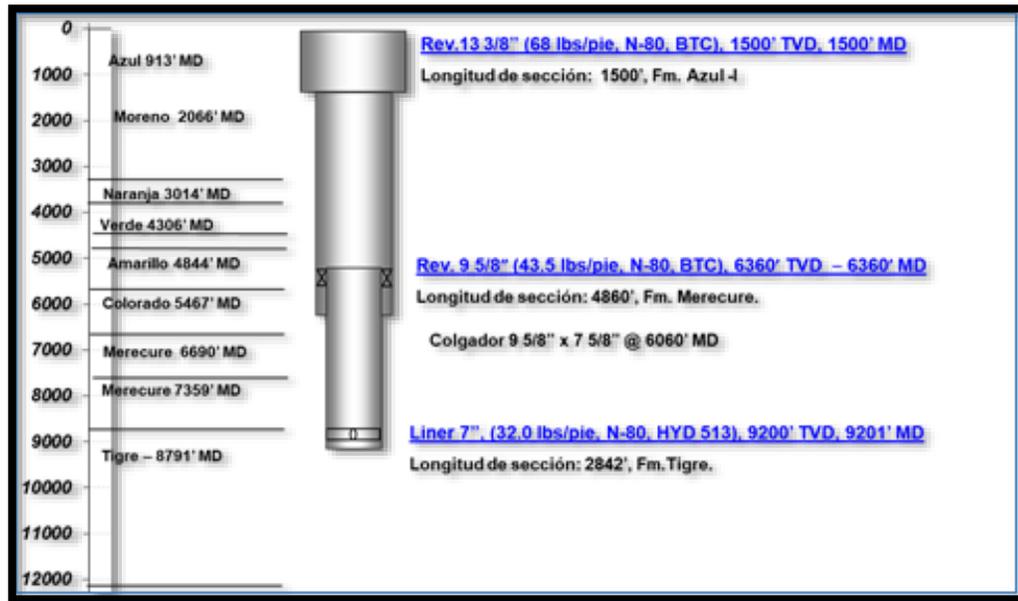
### 4.3 ESTABLECIMIENTO DEL DISEÑO ÓPTIMO DE REVESTIDORES MEDIANTE LOS SIMULADORES CASINGSEAT Y STRESSCHECK

Para establecer el diseño óptimo de revestidores y análisis de carga, inicialmente con el programa de simulación CasingSeat se tomó en cuenta la información de pozos vecinos, analizando los diagramas mecánicos de cada uno, considerando la información de gradiente de temperatura, profundidad de cada fase, diámetros de hoyo y revestidores, litología, problemas operacionales, presión de poro y gradiente de fractura.

A continuación, se muestran en las Figuras N°4.12 y 4.13, el esquema actual y el esquema propuesto de tuberías de revestimiento del campo en estudio.



**Figura 4.12 Esquema Actual de los pozos del Campo El Roblote.**  
Fuente: PDVSA (2022)



**Figura 4.13 Esquema propuesto para los pozos del Campo El Roblote**  
Fuente: PDVSA (2022)

La propuesta de optimización señala la eliminación de una fase en los pozos a perforar en el campo. El esquema actual de los pozos perforados en el área, presenta la construcción de cuatro fases fundamentales; en la primera fase se perfora un hoyo de 26 pulgadas hasta la profundidad planificada, luego se introduce la tubería de revestimiento conductora de 20 pulgadas hasta el punto de asentamiento, donde es cementada hasta su totalidad; en la segunda fase se perfora un hoyo de 17 ½ pulgadas hasta la profundidad de asentamiento, este se reviste mediante una tubería superficial de 13 3/8 pulgadas, la cual es cementada hasta la superficie; en la tercera fase se perfora un hoyo de 12 ¼ pulgadas hasta la profundidad planificada, luego se baja la tubería intermedia de 9 5/8 pulgadas hasta el punto de asentamiento para luego ser cementada, y por último en la cuarta fase se perfora un hoyo de 8 ½ pulgadas, donde se introduce un liner de 7 5/8 pulgadas hasta el fondo para luego ser cementado.

Por el contrario, el esquema propuesto de acuerdo a sugerencia de la Gerencia de Perforación y simulaciones realizadas en este trabajo, considera la construcción de tres fases; la primera fase se perfora un hoyo de 17 1/2 pulgadas hasta la profundidad planificada, luego se corre la tubería de revestimiento de 20 pulgadas hasta el punto de asentamiento, donde es cementada hasta su totalidad; en la segunda fase se perfora un hoyo de 12 1/4 pulgadas hasta la profundidad de asentamiento, este se reviste mediante una tubería intermedia de 9 5/8 pulgadas, la cual es cementada hasta la superficie y por último en la tercera fase se perforará un hoyo de 8 1/2 pulgadas, donde se bajará un liner de 7 pulgadas hasta el fondo, se colgará al revestidor anterior para luego ser cementado.

Esta propuesta optimizada permitirá minimizar la ocurrencia de los eventos operacionales improductivos que se han observado en los últimos pozos perforados en el Campo El Roblote (derrumbes de la formación, arrastre de la sarta de perforación, alto torque, entre otros) analizados en etapas previas del presente trabajo de investigación.

El peso unitario y el grado fueron seleccionados en función a los casos de cargas que se indican en el Manual de Diseño de Revestidores desarrollado por PDVSA. Para las roscas o conexiones, se recomienda utilizarlas de tipo acoplada para las dos primeras secciones del pozo, ya que no es alcanzado el límite de fuga de las conexiones. Para la sección productora se recomienda utilizar una conexión integral, sello metal-metal, además que sea de bajo recalque (tipo semi-lisa) para minimizar las presiones de surgencia durante la corrida del revestidor. (PDVSA, 1998).

En el caso del revestidor de 9 5/8 pulgadas se propone utilizar un peso de 43,5 lbs/pies, con grado N80 a 6360 pies, para cumplir con el factor de

diseño. Con respecto al revestidor de 7 pulgadas se propone utilizar un peso de 32 lbs/pies y grado N80 en lugar de 35 lbs/pies, P110 que es el más utilizado en los últimos pozos que se han perforado en campos adyacentes.

En la Tabla N° 4.3 se muestra el resumen del diseño final de revestidores generado para los pozos nuevos a perforar en el campo El Roblote.

**Tabla 4.3 Diseño de revestidores propuesto campo El Roblote**

Revestidor	MD (pies)	Diámetro revestidor (pulg)	Peso (Lbs/pies)	Diámetro (pulg)	Conexión
Superficial	1500	13 3/8	68	12.259	BTC
Intermedio	0-6360	9 5/8	43.5	8.625	BTC
De Producción	9201	7	32	5.876	HYD-513

Una vez seleccionado el esquema de revestidores más adecuado con el programa CasingSeat, se realizó el análisis de carga y selección final del diseño de revestidores mediante el programa StressCheck, tomando en consideración los factores de seguridad para cada revestidor según las cargas a los cuales serán sometidos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 4.4 Factores de seguridad para cada revestidor (StressCheck)**

Factores de seguridad				
Revestidor	Estallido	Colapso	Axial	Triaxial
Superficial	4,00	4,14	4,64	4,64
Intermedio	2,01	1,76	2,14	2,14
De Producción	3,20	2,81	2,42	3,34

Fuente: Resultados del Simulador StressCheck.

Los factores de diseño mínimos establecidos por PDVSA son los mostrados en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5 Factores de seguridad establecidos por PDVSA**

Revestidor	Estallido. Cedencia interna	Colapso	Tensión	Compresión	Triaxial
<b>Conductor</b>		1,0			
<b>Superficie</b>	1,10	1,0	1,6	1,3	1,25
<b>Protección</b>	1,10	1,0	1,6	1,3	1,25
<b>Producción</b>	1,10	1,1	1,6	1,3	1,25

Fuente: PDVSA (1998)

Como se puede observar en la tabla 4.4, los valores obtenidos por medio del programa StressCheck cumplen con los factores mínimos de seguridad y diseño exigidos por PDVSA (Tabla 4.5) en cuanto a los esfuerzos a los que estarán sometidos los revestidores (estallido, colapso, tensión y triaxiales), con la finalidad de obtener un diseño óptimo, económico y eficiente.

Una vez realizada las simulaciones respectivas en la aplicación empleada, se muestra de forma gráfica el diagrama de Von Mises que involucra un esfuerzo Triaxial, y que trata de explicar el eco cuando una tubería está sometida a varias cargas simultáneas, la mejor forma de considerarlas es calculando un esfuerzo equivalente y comparando dicho esfuerzo con la resistencia a la fluencia del material.

En las Figuras N° 4.14, 4.15 y 4.16, se muestra la comparación obtenida de los factores de seguridad obtenidos, con los factores de diseño que establece la Norma PDVSA, para cada uno de los revestidores que integran la propuesta planteada en este trabajo de investigación.

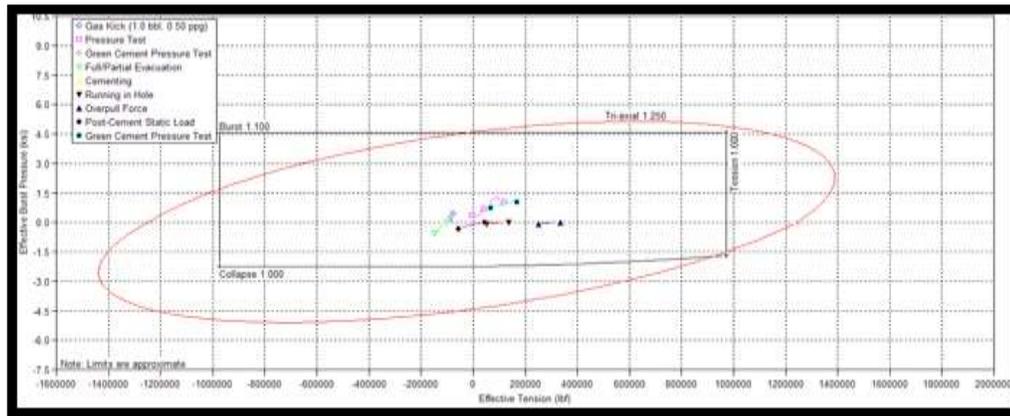


Figura 4.14 Diagrama de Von Mises – Rev. 13 3/8 pulgadas

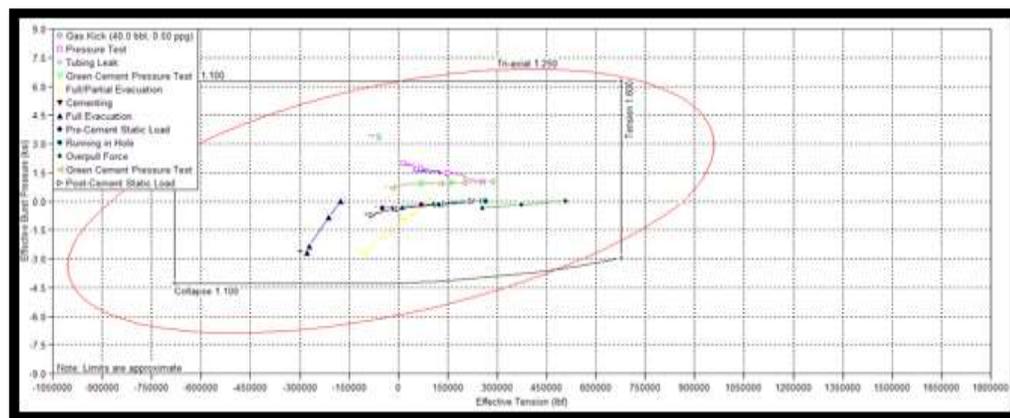


Figura 4.15 Diagrama de Von Mises – Rev. 9 5/8 pulgadas

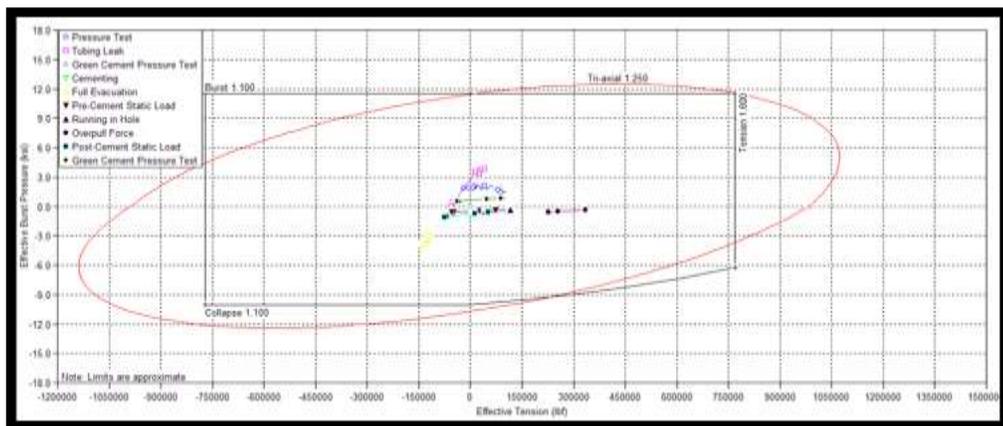


Figura 4.16 Diagrama de Von Mises – Liner 7 pulgadas

Estos gráficos validan que el diseño de revestidores propuesto cumple con los factores de seguridad y los factores de diseño establecidos por PDVSA, donde se puede observar que las cargas y condiciones a las que estarán sometidos los revestidores obtenidos mediante las simulaciones, cumplen con los factores de diseño establecidos, encontrándose todas las cargas dentro del área que encierra el rectángulo y el óvalo, permitiendo concluir que el esquema de revestidores seleccionado soportará las cargas a los cuales estarán expuesto, sin riesgo a fallar.

De acuerdo a experiencia en el área y pozos vecinos, se estima que el esquema de revestidores planteado, podrían disminuir los problemas operacionales que suelen ocurrir durante la etapa de perforación en el Campo El Roblote. Adicionalmente, se reflejaría un ahorro en costo, debido a la eliminación de una fase en la planificación de la perforación, que influye en la disminución de volumen requerido de fluido de perforación en el nuevo diseño con respecto al actual, y la reducción de la volumetría de hoyo en el resto de las secciones.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- En los pozos perforados en el campo El Roblote, los eventos operacionales ocurridos con mayor frecuencia son los derrumbes de formación y arrastre de la sarta de perforación con un 18,60%.
- La zona donde se evidenció en gran parte arrastre de la sarta de perforación es la superficial, por lo que es imperante mantener una buena capacidad inhibitoria del fluido para minimizar el hinchamiento de las arcillas producto de la interacción con el fluido de perforación.
- De acuerdo al análisis de presiones realizado, las formaciones a perforar en los pozos del campo en estudio se encuentran normalmente presurizadas.
- Se propone profundizar el asentamiento del revestidor superficial con diámetro 13 3/8 pulgadas a nivel de la arena AZ-I, sin riesgo de canalización superficial en los pozos del área.
- De acuerdo a la simulación con CasingSeat y condiciones operacionales, se estableció el diseño de tres (3) revestidores: superficial de 13 3/8 pulgadas a 1500 pies, un revestidor intermedio de 9 5/8 pulgadas a 6360 pies y finaliza con un revestidor de producción de 7 pulgadas a 9201 pies, colocando el colgador a 6060 pies.
- La densidad del fluido de perforación propuesta para los pozos perforar en el campo El Roblote se encuentra en el rango entre 9.6 Lpg y 12 Lpg.
- El rango de los factores de seguridad para el diseño propuesto se encuentra para estallido entre 2.01 y 4.00, colapso entre 1.76 y 4.14,

axial y triaxial entre 2.14 y 4.64, cumpliendo con los factores mínimos de diseño establecidos por PDVSA.

- El diseño de revestidores propuesto permite una menor volumetría de hoyo abierto con respecto al diseño actual y por consiguiente un menor costo asociado a tubulares, requerimientos de cemento y fluidos de perforación.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la empresa PDVSA emplear este nuevo diseño de tuberías de revestimiento para los pozos a perforar en el Campo El Roblote, para evitar problemas operacionales y minimizar los costos de perforación.
- Realizar estudios más extensos y detallados sobre Geomecánica del campo para contar con datos mucho más representativos acerca de las presiones de poro y de fractura de la zona.
- Actualizar la información obtenida de los portales DIMS, WebChannels y Copyr mediante Carpetas de Pozos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (6ta Edición). Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Balderas, C. y Cisneros, J. (2011). Determinación de geopresiones para el asentamiento de tuberías de revestimiento. Trabajo especial de grado, Instituto Politécnico Nacional ESIA, Ciudad de México, México.
- Benítez, M. (2005). Diseño de tuberías de revestimiento. Pemex Perforación y Mantenimiento de Pozos, México.
- Castillo, M. (2019). Optimización del Diseño de Tuberías de Revestimiento en los Proyectos de Perforación del Campo El Roble de PDVSA GAS, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente. Anzoátegui.
- Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED PDVSA). (2002). Fluidos de Perforación. Venezuela
- Devereux, S. (1997). Practical Well Planning and Drilling Manual. Penwell Publishing Company.
- Díaz, A. (2011). Diseño de una Propuesta de Reentrada al Pozo RG-230, para Evaluar la Arena ME-J1U de la Formación Merecure, Campo Santa Rosa, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Instituto Francés del Petróleo. Anzoátegui.
- Molero J., (2008). Diseños de Sartas de Perforación. Diseño de Sartas de Perforación. Diseño API de Revestidores. Introducción a la Cementación de Pozos. Mechas, Fluidos e Hidráulica de Perforación (Teoría- Diseño-Cálculos). Planificación de la Perforación de Pozos y Selección de Taladro, Venezuela.
- Molina, C., (2017). Optimización de la Perforación mediante la Hidráulica de Perforación, Ecuador Guayaquil: ESPOL.

PDVSA (2022). Reportes operacionales de los pozos del campo El Roblote. Carpetas de pozos. Distrito Gas Anaco.

PDVSA (2017). Informe del Distrito Gas Anaco.

PDVSA Intevep (1998). Manual para el Diseño de Revestidores y Tubería de Producción de PDVSA. Grupo de Racionalización de Revestidores. Los Teques.

Pereda, M. (2022). Establecimiento del esquema óptimo de revestidores de los pozos del campo Pato, Distrito Gas Anaco, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas.

Pérez, A. y Carreño, B. (2012). Diseño de metodología de trabajo para el Diseño de revestidores de los proyectos de PDVSA GAS, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas.

Salas, R. (2010). Fluidos de Perforación. Venezuela.

Schlumberger. Oilfield Glossary en Español: Donde el Campo Petrolero interactúa con el Diccionario. Recuperado de <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>

## HOJAS METADATOS

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

<b>Título</b>	<b>Establecimiento del esquema óptimo de revestidores de los pozos del campo EL Roblote, área mayor de Anaco, Distrito Gas Anaco</b>
---------------	--

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

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código ORCID / e-mail</b>	
<b>Yanez Navarro Johandlys Teresita</b>	<b>ORCID</b>	<b>C.I. 24411715</b>
	<b>e-mail</b>	johandlys@gmail.com
<b>Osuna Aray Jesus Ismario</b>	<b>ORCID</b>	<b>C.I. 28119331</b>
	<b>e-mail</b>	ismarioosuna@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema ORCID (Open Researcher and Contributor ID) se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

### Palabras o frases clave:

perforación
revestidores
simuladores
campo El Roblote.

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

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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y ciencias aplicadas	Ingeniería de Petróleo

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

### Resumen (Abstract):

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de establecer el esquema óptimo de revestidores de los pozos del campo El Roblote, perteneciente al Área Mayor de Anaco del Distrito Gas Anaco en el estado Anzoátegui. Para esto, en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de los pozos perforados en el área de estudio para identificar los problemas operacionales ocurridos durante su perforación. Posteriormente, se seleccionaron las profundidades de asentamiento de los revestidores, mediante el análisis de presiones realizado en el área y el programa Compass, para finalmente, establecer el diseño preliminar de revestidores con el programa CasingSeat y StressCheck, haciendo sensibilidades de revestidores de distintos grados de acero y pesos con el fin de elaborar una propuesta optimizada con las tuberías más adecuadas que se ajusten al comportamiento real del pozo y que a su vez cumplan con el criterio de mínimo costo por diseño. Como resultado final se obtuvo la nueva propuesta, donde se sustentó el ahorro de perforación de una fase obteniendo el diseño de tres (3) revestidores: superficial de 13 3/8 pulgadas a 1500 pies, un revestidor intermedio de 9 5/8 pulgadas a 6360 pies y finaliza con un revestidor de producción de 7 pulgadas a 9201 pies, cumpliendo con los criterios de seguridad y de diseño mínimos exigidos por PDVSA para establecer el diseño de revestidores óptimo para pozos exploratorios con condiciones similares a las del campo El Roblote, del área mayor de Anaco.

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

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Prof.. Carlos De La Cruz	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	<b>12664336</b>
	<b>e-mail</b>	cjdlco@gmail.com
Prof. Carmen cabello	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	<b>17708641</b>
	<b>e-mail</b>	carmenluisacabello28@gmail.com
Prof. Jesús Otahola	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	<b>14940176</b>
	<b>e-mail</b>	jotahola.udomonagas@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema ORCID (Open Researcher and Contributor ID), se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	07	22

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

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

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

### Archivo(s):

<b>Nombre de archivo</b>
<b>NMOTTG_LCRA2024</b>

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

### Alcance:

Espacial: El Área Mayor Anaco se encuentra ubicada en la zona centro del estado Anzoátegui, con una extensión de 3.160 km<sup>2</sup>, y está dividida en dos áreas operacionales como son: A.M.A Este y A.M.A Oeste. En A.M.A Este se encuentran los campos: Quiamare, La Ceiba, Tacata, Cerro Pelado y Santa Rosa, mientras que en A.M.A Oeste se encuentran los Campos: Santa Ana, San Joaquín, El Roble, Guarío y El Toco.

### Temporal:

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

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

### Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

### Área de Estudio:

Tecnología y ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

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

Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

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

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

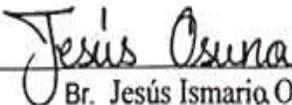
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

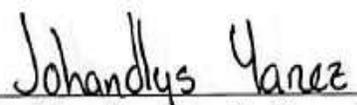
JABC/YOC/manija

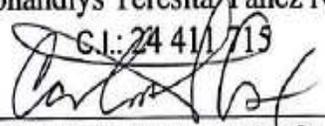
## Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 6/6

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

Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.

  
\_\_\_\_\_  
Br. Jesús Ismarío Osuna Aray  
C.I.: 28 119 331

  
\_\_\_\_\_  
Br. Johandlys Teresita Yanez Navarro  
C.I.: 24 411 715

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Carlos De La Cruz  
C.I.: 12 664 336  
**Asesor Académico**