

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS CEMENTANTES  
DE LAS ARENAS PRODUCTORAS PERTENECIENTES AL  
CAMPO EL ROBLE DEL DISTRITO GAS ANACO”**

**REALIZADO POR:**

**Anyela María Rizalez Rizalez  
Anyelis Yexana González García**

**Trabajo Especial De Grado Presentado Ante La Universidad De Oriente Como  
Requisito Parcial Para Optar Al Título De:**

***INGENIERO DE PETRÓLEO.***

**Puerto La Cruz, Noviembre 2011.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS CEMENTANTES  
DE LAS ARENAS PRODUCTORAS PERTENECIENTES AL  
CAMPO EL ROBLE DEL DISTRITO GAS ANACO”**

**ASESOR**

---

**Ing. Roberto Salas**  
**Asesor Académico**

**Puerto La Cruz, Noviembre 2011.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS CEMENTANTES  
DE LAS ARENAS PRODUCTORAS PERTENECIENTES AL  
CAMPO EL ROBLE DEL DISTRITO GAS ANACO”**

**REALIZADO POR:**  
**Anyela María Rizalez Rizalez**  
**Anyelis Yexana González García**

**El Jurado Hace Constar Que Asignó A Esta Tesis La Calificación De:**

---

**Ing. Gabriel Guzmán**  
**Jurado Principal**

---

**Ing. José Rodríguez**  
**Jurado Principal**

---

**Ing. Roberto salas**  
**Asesor Académico**

**Puerto La Cruz, Noviembre 2011.**



## RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS  
DE GRADO:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA  
UNIVERSIDAD DE ORIENTE, Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS PARA  
OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO  
RESPECTIVO, QUIEN DEBERÁ PARTICIPARLO PREVIAMENTE AL  
CONSEJO UNIVERSITARIO, PARA SU AUTORIZACIÓN”



---

---

## DEDICATORIA

Principalmente a **DIOS** le agradezco enormemente, por permitirme estar aquí, por la misericordia que ha tenido para conmigo, por ser el que me ayudó, guió, protegió, iluminó, cuidó, me levantó en los momentos más fuertes, difíciles y donde aún lo hace; gracias a él yo estoy aquí, y he culminado esta meta. Nunca podré agradecerte todo lo que has hecho en mi vida.

Seguidamente a (MI MAYOR TESORO), mi hija: **Edanyeli** quien a pesar de ser una niña comprendió que si no le dedico el tiempo que merecía era porque estaba detrás de esta gran meta para poder ofrecerle una calidad de vida mejor, hija eres mi motor, eres mi fuerza y mis ganas de seguir adelante. Gracias por que tus palabras me llenan, tu mirada me impulsa, tus sueños me motivan. **TE AMO HIJA DE MI ALMA.**

A mis padres, **María de Rizalez y Ángel Rizalez**, creadores de esta sencilla y humilde hija, pilares principales en mi formación, educación, costumbres, entre otros. Ustedes son mi base, mi sostén, mi todo, los que siempre han estado allí en las buenas, malas, mejores y peores, los que me han orientado, guiado, ayudado, dando apoyo, amor, protección, fortaleza, ánimos para que no desmaye, desamine y caiga en el intento de culminar mi carrera, gracias por soportarme, gracias por no dejarme a un lado, porque a pesar de las dificultades sé que siempre han estado allí. **(LOS AMO CON TODA MI ALMA, MUCHAS GRACIAS).**

A mis hermanos **Ángel y Ana Rizalez**, que siempre estuvieron allí apoyándome, **LOS QUIERO MUCHÍSIMOS.** Cuenten con su hermana para todo y en todo.



---

A mis sobrinos **Eliam y Areana**, por revivir esa alegría en nuestro hogar, alegría que solo ustedes los niños pueden ofrecer con su ternura e inocencia.

A mi tía **Rosa**, porque siempre ha confiado en mí y tus palabras siempre han sido de aliento. Gracias por el cariño, amor, apoyo y fortaleza en todo momento, Tía mil gracias.

A mis abuelos **Jesús, Lourdes y Arcangela**, quienes a pesar de no encontrarse presentes, siempre con su energía me dieron la fortaleza necesaria para avanzar y culminar esta meta. Siempre los llevo conmigo en mi corazón y sus recuerdos permanecen en mi mente como si fuera ayer.

A todos mis compañeros de estudio con los cuales compartí todo este tiempo, en especial a **Elenitza, Corelis, Joyce, Grea, Josmary**; a mi compañera de tesis **Anyelis**. Ustedes más que mis compañeras son mis **AMIGAS**. Las quiero mucho, gracias por su amistad y apoyo.

**De ustedes mi triunfo, mía la satisfacción.**

**Anyela M. Rizalez R.**



---

A **Dios** Todopoderoso, por iluminarme, darme sabiduría levantarme en los momentos más difíciles para poder alcanzar esta meta tan anhelada en mi vida, Siempre estás presente en todo lo que hago. **GRACIAS** a ti he culminado esta meta.

A mi abuela **FRANCISKA DIAZ (MITA)** por su apoyo incondicional y por hacer posible el logro de esta nueva meta. Por ser el motivo que me impulsa a seguir luchando por lo que quiero, esto es parte de la recompensa. **TE AMO MITA.**

A mi madre **Milagros García**, este logro fue culminado gracias a ti por tu ayuda, cariño, amor y confianza de saber que lograría la meta. Me distes todos los principios y herramientas para desenvolverme en la vida. Una vez más gracias. Te quiero madre.

A mis hermanos: **Hilario, Juan Carlos, Ernesto y Víctor** por su comprensión y apoyo cuando más los necesite. **LOS QUIERO MUCHO.**

A mis tíos: **Hayde, Coromoto, José Gregorio, Juan Carlos y rosarito** por sus consejos y apoyo incondicional, ustedes también son parte de este logro.

A mis primos: **Mili, Dubraska, Rosimar, Norkis, Nestor, francis, maría, Valentina Santiago** y en especial a **Junior y Sebastián** por quererme y respetarme como una madre. A todos los quiero enormemente, gracias por existir.

A mis sobrinos: **Nelson, Yuli, Adrian, Dianita, Reinibelle, Evany, Belén, Estefaní, leiskarly, Génesis, Rómulo, Edanyeli** que con su ternura y alegría llenan mi rostro de felicidad. Los quiero mis niños bellos.

A mis amigas Y hermanas; **Barbará, luz Anaïs y Ana Karina.** Personas cuyo cariño y apoyo ha sido incondicional en el transcurrir de estos años. En especial a



---

**Barbi** Por su confianza, eres una hermana para mí, gracias por estar cuando mas te he necesitado, a ti mil gracias amiga.

A mi comadre, hermana y amiga **Reina**. Le doy gracias a dios por poner en mi camino a un ser tan especial como lo eres tu mi coma bella. Gracias por todo el amor y apoyo incondicional.

A **Carlos Mérida** por su cariño y apoyo incondicional en este logro. Mil gracias t.q.m, **D.T.B.**

A mis amigos **Lolimar, Elizabeth, Marielena, Alexandra, Anyela, Josmary, Verónica, Ahmar, Dayana Mariela, Rafael, Gabriel Noriega, Junior, Camacho, Jose Luis, Eduardo León, Eduardo López Astrid Freites, Angela, gladiangel, fatima**, que durante mi carrera fueron fuente de inspiración y me motivaron para alcanzar este objetivo en mi vida.

A **Iris zapata, Lola De Glod, Italino Glod, Betty Rojas, Frayber Guevara (mi maestro en locución), Graciela Suniaga, Geranny (mi panal), Ragenny, Rukmini Guevara**; a pesar de que llegaron a mi vida al final de mi carrera, igual son mis apoyos para esta nueva etapa, gracias a dios por ponerlos en mi camino que dios los bendiga. Los aprecio mucho.

**Anyelis Y. González G.**





---

---

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mi **DIOS** el guiador del camino de cada uno de nosotros hacia el destino que nos depara, pero en el transcurso de la vía nos empeñamos en tomar el que queramos, pero el siempre está allí para regresarnos por el que nos tiene destinado; pero viviéndolo a nuestra manera.

A nuestro asesor académico **Profesor Jhonles Morales** por creer y confiar en nosotras, por ser un eslabón importante en la elaboración y culminación de esta tesis, sin usted no hubiese sido posible, gracias por estar allí, y disculpe los dolores de cabeza ocasionados, éxitos en todo.

A nuestros amigos de la Universidad de Oriente (UDO-ANZ): **Elenitza, Corelis, Joyce, Grea, Josmary, Marielena, Lolimar, Alexandra, Anabel, Sandi, Claudia, Jesús (churro), Alejandro** quizás pasamos algunas por alto, pero las llevaremos en nuestro corazón y *que algunas de ellas hoy quedan, preparándose en las aulas de esta Universidad... No descansen hasta alcanzar el éxito.* (Muchas gracias amigos).

Al personal del Departamento de Perforación de PDVSA Gas Anaco, por ayudarnos y guiarnos de una u otra forma. Siempre los recordaremos.

A un señor **Eduardo Uvan** que estuvo desde el primer día que llegamos a la Nucleoteca de PDVSA, dándonos su apoyo, su mano amiga, quien nos presentó a muchos allí, quien nos dio mucha fortaleza en nuestra estadía en ese lugar, Gracias porque estuvo allí en todo momento, se le admira y aprecia mucho.



---

A los Sres. **Pablo y Ender** en las instalaciones del Laboratorio El Chaure, por prestarnos su equipo, por la paciencia, entrega y el cariño con que me enseñaron muchas cosas, gracias en especial al Sr. **Zorrilla**.

A la ilustre Universidad de Oriente, quien un día nos abrió sus puertas y nos permitió lograr esta meta de ser Ingeniero, en ella pasamos días inolvidables llenos de amistad, alegrías y tristezas en compañía de nuestros amigos y profesores, son tantas las vivencias ganadas dentro de sus espacios. Muchas gracias a todos los profesores que estuvieron a lo largo de nuestro recorrido especialmente: **Rafael Barrueta, José Rodríguez, Karla pastrana, Glenis Larez, Raída Patiño, Melissa Delph** quien con sus conocimientos y apoyo nos ayudaron mucho, por ser profesores ejemplares, modelo a seguir, También gracias infinitas al **Profesor Roberto Salas** quién como educador de esta casa de estudios nos llevó a conocer un taladro de perforación, en una de sus giras. Y a la **Profesora Aura Vilela** porque también fue partícipe en mostrarnos sus conocimientos en la salida al Faro y Caripe las estructuras presentes, al **Profesor Lisandro Viloría** por su dedicación y por sus consejos entre otros; por profesores de la talla de éstos es que estamos orgullosa por haber formado parte de ésta casa de estudios; porque como alumnos debemos ir a la práctica o palmar lo que estudiamos, así que muchísimas gracias.

A **Betty Zambrano, Andrés Mora** por su apoyo y por estar pendiente en desarrollo de este logro aún con sus obligaciones cotidianas, ahora si te decimos que “TERMINAMOS”, gracias por su apoyo.

A la Srta. **Zhue** del Departamento de Artes Gráficas en PDVSA Gas Anaco, disculpe tantas molestias y gracias por sus favores. Disculpas para aquellas personas que estuvieron ayudándonos, preocupados, pendientes tanto cercanos, como a distancia haciendo posible con su gran colaboración la culminación de esta tesis y los llegamos a pasar por alto. Muchísimas gracias.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	XI
LISTA DE FIGURAS .....	XVI
LISTA DE TABLAS .....	XVII
RESUMEN .....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	20
CAPÍTULO I.....	22
1.1. Planteamiento del Problema. ....	22
1.2. Objetivos de la Investigación.....	24
1.2.1. Objetivo General.....	24
1.2.2. Objetivos Específicos .....	24
1.3. Justificación del Problema.....	25
CAPÍTULO II.....	26
FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	26
2.1. Antecedentes.....	26
2.2. Descripción del Área de Estudio .....	28
2.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela. ....	28
• La Sub-cuenca de Guárico. ....	28
• La Sub-cuenca de Maturín. ....	28



---

---

2.3. Corrimiento de Anaco.....	29
2.4. Generalidades del Campo el Roble.....	30
2.4.1. Ambiente de Sedimentación.....	30
2.4.2. Estratigrafía del Área de Estudio.....	31
2.5. Definición de Términos Básicos.....	36
2.5.1. Yacimiento.....	36
2.5.2. Reserva. ....	36
2.5.3. Permeabilidad. ....	36
2.5.4. Porosidad. ....	37
2.5.5. Arcillosidad. ....	37
2.5.6. Saturación de Agua (Sw).....	37
2.6. Definiciones de las Arcillas.....	38
2.7. Historia, Uso y Ejemplo de las Arcillas.....	39
2.8. Química de las Arcillas.....	40
2.9. Propiedades Físico-Químicas de las Arcillas. ....	41
2.9.1. Superficie Específica. ....	42
2.9.2. Capacidad de Intercambio Catiónico.....	43
2.9.3. Capacidad de Absorción.....	45
2.9.4. Hidratación e Hinchamiento.....	45
2.9.5. Plasticidad.....	46
2.9.6. Tixotropía. ....	47
2.10. Tipos de Minerales de las Arcillas.....	47



---

---

2.10.1. Clasificación de las Arcillas según la Relación con los Fluidos de Perforación y Completación.....	48
2.11. Problemas Ocasionados por las Arcillas.....	55
2.12. Reservas.....	57
2.12.1. Clasificación de reservas. ....	57
2.13. Definición, Extracción y Análisis de Núcleos.....	59
2.14. Tipos de Procedimientos en los Análisis de Núcleos. ....	60
2.14.1 Análisis de Núcleos de Diámetro Completo (full diameter). ....	60
2.14.2. Análisis de Tapones de Núcleos (plug- type).....	61
2.14.3. Análisis de Muestra de Pared (side wall). ....	61
2.14.4. Tipos de Análisis de Núcleos en el Laboratorio.....	61
2.15. Difracción de Rayos X.....	62
2.16. Daños de Formación. ....	62
2.17. Origen de Daño a la Formación.....	63
2.17.1. Daño Causado durante la Perforación del Pozo. ....	63
2.17.2. Invasión del Filtrado del lodo de Perforación. ....	64
2.17.3. Invasión de Sólidos del Lodo de Perforación.....	64
2.17.4. Daño Causado por el Cañoneo. ....	64
2.17.5. Daños Causados por los Fluidos de Completación y/o Reparación. ....	64
2.17.6. Causas de Daño a la Formación durante las Operaciones. ....	65
2.18. Daños de Eflujo. ....	65
2.18.1. Taponamiento. ....	65



---

---

2.18.2. Arcilla hidratada. ....	66
2.18.3. Cambio de humectación. ....	66
2.18.4. Formación de emulsiones. ....	66
2.18.5. Bloqueo por agua. ....	67
2.19. Tratamiento para los Diferentes Tipos de Daño. ....	67
2.19.1. Cambios de Humectabilidad. ....	67
2.19.2. Bloqueos por Agua. ....	68
2.19.3. Arcillas y Partículas Finas. ....	68
2.19.4. Estabilidad de la Lutita y del Pozo. ....	68
2.19.5. Lutita Sensible al Agua. ....	69
2.20. Acidificación. ....	70
2.21. Tipos de Ácidos. ....	70
2.21.1. Ácido Clorhídrico. ....	70
2.21.2. Ácido Fluorhídrico. ....	71
2.21.3. Ácido Fluobórico. ....	71
2.22. Registros Eléctricos. ....	72
CAPÍTULO III .....	74
MARCO METODOLÓGICO .....	74
Revisión Bibliográfica. ....	74
3.1. Seleccionar los Yacimientos Productores del Campo el Roble de acuerdo a sus Reservas, Presión y Producción Acumulada. ....	75
3.2. Aplicar la Prueba de Difracción de Rayos X a los Núcleos de las Arenas Productoras Seleccionadas Pertenecientes a las Zonas Productoras del Campo El Roble. ....	82



---

---

3.3. Calcular el Daño a la Formación a través del PIPESIM.....	91
3.4. Realizar Mapas de Tendencia para cada Arena Productoras de la Zona Correspondiente al Campo Mencionado en donde se Muestra la Distribución de los Distintos Tipos de Arcillas. ....	93
CAPÍTULO IV .....	95
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	95
4.1. Seleccionar los yacimientos productores del Campo el Roble de acuerdo a sus reservas, presión y producción acumulada. ....	95
4.2. Aplicación de la prueba de Difracción de Rayos X a los núcleos de las arenas productoras seleccionadas pertenecientes a las zonas productoras del Campo El Roble. ....	95
4.3. Calcular el daño a la formación a través del PIPESIM .....	110
4.4. Realizar Mapas de Tendencia para cada Arena Productoras de la Zona correspondiente al Campo mencionado en donde se muestra la Distribución de los distintos Tipos de Arcillas. ....	110
CONCLUSIONES.....	125
RECOMENDACIONES .....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	128



---

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.36 Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-A. ....	113
Figura 4.37. Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-E. ....	114
Figura 4.38. Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-K. ....	115
Figura 4.39. Mapa de los porcentajes de calcita en la arena CO-K. ....	116
Figura 4.40. Mapa de los porcentajes de Feldespato plagioclasas en la arena CO-E. .....	117
Figura 4.41. Mapa de los porcentajes de siderita en la arena CO-K. ....	118
Figura 4.42. Mapa de los porcentajes de caolinita en la arena CO-A. ....	120
Figura 4.43. Mapa de los porcentajes de caolinita en la arena CO-E. ....	121
Figura 4.45. Mapa de los porcentajes de Ilita en la arena CO-E. ....	123





## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Arcillas Encontradas Comúnmente. (M.I. Drilling 1.998.) <sup>[1]</sup> .....	55
Tabla 3.1. Calculo de la Reservas Remanente de liquido (BN), de los yacimientos del Campo el Roble.....	76
Tabla 3.2. Calculo de la Reservas Remanente de Gas, de los yacimientos del Campo el Roble. ....	77
Tabla 3.3. Producción acumulada de líquido, agua y gas, de los yacimientos Pre-seleccionados del Campo el Roble.....	78
Tabla 3.4. Presión original, de burbujeo, abandono y última presión de los yacimientos Pre-seleccionados del Campo el Roble.....	79
Tabla 3.5. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con reservas desarrollas de líquido. ....	80
Tabla 3.6. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con reservas desarrollas de Gas .....	80
Tabla 3.7. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con producciones acumuladas de líquido y Gas. ....	81
Tabla 3.8. Yacimientos pre-seleccionados del campo el Roble.....	82
Tabla 3.9. Yacimientos productores del campo el Roble seleccionados de acuerdo a sus reservas, presión y producción acumulada. ....	82
Tabla 3-10. Inventario de Núcleos Disponibles del Campo El Roble. ....	84
Tabla 3.11. Selección de las arenas en estudio de acuerdo a la frecuencia de los pozos en estudio. ....	86
Tabla 3.12. Pozos seleccionados con sus respectivas arenas en estudio, profundidad de interés y cantidad de cajas de muestras representativas de esas arenas. ....	87
Tabla 4.1. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 3, por Difractometría de Rayos X.....	97



---

---

Tabla 4.2. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 4, por Difractometría de Rayos X. ....	98
Tabla 4.3. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 6, por Difractometría de Rayos X. ....	98
Tabla 4.4. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 11, por Difractometría de Rayos X. ....	99
Tabla 4.5. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 55S, por Difractometría de Rayos X. ....	99
Tabla 4.6. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 3, por Difractometría de Rayos X. ....	106
Tabla 4.7. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 4, por Difractometría de Rayos X. ....	106
Tabla 4.8. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 6, por Difractometría de Rayos X. ....	107
Tabla 4.9. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 11, por Difractometría de Rayos X. ....	107
Tabla 4.10. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 55S, por Difractometría de Rayos X. ....	108



---

---

## RESUMEN

El estudio realizado tuvo como propósito fundamental caracterizar las arcillas cementantes presentes en las arenas productoras del campo El Roble. Para realizar el estudio se seleccionaron 5 pozos (RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11, RPN-55S) los cuales poseían núcleos de las arenas en estudio, los colorados, específicamente las CO-A, CO-E y CO-K a la profundidad de interés.

A los núcleos representativos de estas arenas a la profundidad de interés se le realizó análisis en laboratorio aplicando técnicas de difracción de rayos X. Dicha técnica se aplicó para determinar el tipo de arcillas presentes en las mismas. También se aplicó la herramienta OFM para crear mapas de tendencias.

Los resultados obtenidos arrojaron que la composición mineralógica de roca total estuvo formada principalmente por: cuarzo y feldespato, y como minerales de arcillas menores a 2 micras: caolinita e ilita. Tras la culminación del estudio se determinó que las arenas/yacimientos colorados a pesar de tener reservas y presión para ser explotadas no se encuentran produciendo en ninguno de los pozos analizados. Por lo que se hicieron recomendaciones tomando en cuenta los minerales de arcillas presentes en dichas formaciones con la finalidad de minimizar los daños causados por la interacción roca/fluido que pudiesen ocurrir por un mal diseño del fluido si se decide activar dichas arenas/yacimientos.



---

## INTRODUCCIÓN

En 1999, el Ministerio de Energía y Minas convirtió a Anaco en el Distrito Gasífero de Venezuela, actualmente se conoce como “Producción Gas Anaco”. Se encuentra ubicado en el estado Anzoátegui; forma parte de la Cuenca Oriental de Venezuela, en la cual se resalta la presencia de una serie de domos que determinan las estructuras de entrapamiento de hidrocarburos de la región. Tiene un área aproximada de 13.400  $km^2$ . Su desarrollo fue enfocado en dos grandes áreas geográficas, el Área Mayor de Oficina (AMO) y el Área Mayor de Anaco (AMA). Por más de 45 años, Anaco ha sido importante centro de operaciones petroleras, en esta área existen las mayores reservas de gas del país. Dentro del Distrito Gas Anaco se encuentra el campo El Roble, descubierto en el año 1937, esta constituido por 77 pozos de los cuales 12 se encuentran activos actualmente. Operacionalmente está ubicado aproximadamente a 12 km al NE del Campo San Joaquín, ocupa un área total de 6,6  $km^2$  aproximadamente. Geológicamente se encuentra ubicado en la Cuenca Oriental, específicamente en la subcuenca de Maturín en el Área Mayor de Anaco.

En la actualidad, para los procesos que involucran a los fluidos de perforación, Completación y procesos de estimulación en el Campo El Roble, no se toman en cuenta la composición mineralógica de las arenas productoras o los tipos de arcillas presentes, debido a que no existe un estudio detallado de cómo están constituidas mineralógicamente, lo que a su vez dificulta la aplicación de los aditivos para controlar las posibles reacciones que puedan ocurrir entre las arcillas presentes y el fluido utilizado, lo cual trae como consecuencia que se genere un daño como puede ser un taponamiento de los poros reduciendo considerablemente la permeabilidad, porosidad, además una disminución de la producción y provocando una baja rentabilidad.



---

Este estudio se presenta por medio del análisis realizado con el equipo de Difracción de Rayos X a una serie de muestras de núcleos correspondientes a los pozos: RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11, RPN-55S; donde se caracterizan las proporciones relativas de los minerales de arcillas en una fracción menor a 2 micras responsables de desestabilizar a la formación. Una vez obtenidos los resultados del análisis, se procederá a emplear OFM 2005 para generar representaciones gráficas de los mapas de tendencias de la distribución de las arcillas autigénicas a lo largo de las arenas de estudio.

# CAPÍTULO I

## 1.1. Planteamiento del Problema.

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) fue creada el 30 de agosto de 1975 constituyéndose como el centro de control de las actividades petroleras nacionales. Posteriormente el 30 de enero de 1976 culminó el proceso de nacionalización quedando su estructura operacional conformada por Corpoven, Maraven y Lagoven, estas empresas se fusionaron para formar hoy día PDVSA. A partir de 1998 es creada PDVSA – GAS, encargándose de la exploración, explotación, producción y comercialización del gas natural y asociado, siendo el Distrito Anaco el más importante en lo que a la producción de gas natural se refiere.

El Distrito Gas Anaco se encuentra ubicado en la zona centro del estado Anzoátegui cuenta con un área aproximada de 13.400 km<sup>2</sup> y se divide en dos áreas de explotación, las cuales son: Producción Área Mayor Anaco (AMA), ubicado en la parte Norte de la zona central del estado Anzoátegui formada por los Campos Santa Rosa, Guarío, El Roble, San Joaquín, Santa Ana y El Toco; y producción Área Mayor Oficina (AMO) ubicado en la parte Sur de la zona central del estado Anzoátegui, además está conformado por los siguientes campos: Aguasay, La Ceibita, Mata R, Zapatos y Soto Mapire. El estudio esta siendo realizado en El campo El Roble perteneciente a la Unidad de Explotación de Gas Condensado del Área Mayor de Anaco (AMA), Geológicamente se encuentra ubicado en la Cuenca Oriental, específicamente en la Subcuenca de Maturín a 12 km al Noreste del campo San Joaquín, Su estructura está representada por un anticlinal de buzamiento suave que cierra en dirección Noreste-Suroeste con una extensión de 6,6 km. Se encuentra en el límite de los distritos Aragua y Freites y al Noroeste del Campo Buena Vista.



---

Lo que se persigue es mapear o conocer las arcillas cementantes pertenecientes en su totalidad del Área Mayor de Anaco en el Campo El Roble; posteriormente descubrir los problemas que pueden ocurrir en dicho campo, por ejemplo: una de estas causas podría ser el daño a la formación el cual puede presentarse en los yacimientos de muchas maneras tales como: taponamiento físico, desestabilización de arcillas, migración de finos, cambio de mojabilidad, activación de surfactantes naturales, precipitación de silicato de sodio, formación de emulsiones viscosas, taponantes, adhesión y precipitados orgánicos e inorgánicos; por consiguiente, se debe conocer previo: las características geológicas del Área Mayor de Anaco, las características más importantes de las arcillas y teniendo en cuenta los procedimientos previos a los estudios de análisis de núcleos, dónde allí se observarían las arenas productoras disponibles en la Nucleoteca. Igualmente a través de pruebas de Difracción de Rayos X se conocerán tanto su mineralogía de roca total, como los tipos de arcillas.

Con todo esto y teniendo en cuenta un factor muy importante como es el análisis de difracción de Rayos X y el estudio de una buena selección de los aditivos; además de los fluidos para las operaciones de perforación, completación; entre otros, donde se procede a conocer las futuras operaciones de producción y facilitar herramientas necesarias para el proceso de estimulación; por esto, es importante conocer sus características y minerales para así evitar las reacciones que provoquen las arcillas; además de prevenir a toda costa alguna mala aplicación de los fluidos empleados, lo que puede conllevar a problemas operacionales trayendo como consecuencia una baja producción; por consiguiente altos costos por reacondicionamiento o hasta el cierre del pozo.



---

## **1.2. Objetivos de la Investigación.**

### **1.2.1. Objetivo General**

Caracterizar las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al Campo el Roble del Distrito Gas Anaco.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Seleccionar los yacimientos productores del Campo el Roble de acuerdo a sus reservas, presión y producción acumulada.
2. Aplicar la prueba de Difracción de Rayos X a los núcleos de las arenas productoras seleccionadas pertenecientes a las zonas productoras del Campo El Roble.
3. Calcular el daño a la formación a través del PIPESIM.
4. Realizar mapas de tendencia para cada arena productoras de la zona correspondiente al Campo mencionado en donde se muestra la distribución de los distintos tipos de arcillas.





---

### **1.3. Justificación del Problema.**

Esta investigación presenta su justificación en varios aspectos que es necesario analizar detalladamente. En primer lugar, existe la problemática de desestabilización de la formación ante la presencia de altos porcentajes de diferentes tipos de arcillas, para estas últimas se debe considerar la composición mineralógica de las arenas productoras del Campo El Roble, a la hora de planificar trabajos que involucren fluidos de perforación, de completación e incluso a la hora de realizar las estimulaciones y se sabe que este es un aspecto de extrema importancia a la hora de seleccionar los aditivos adecuados para tratar a los fluidos, especialmente para prevenir las reacciones con arcillas, ya que las mismas pueden migrar y tapar las gargantas porales o pueden hincharse generando un daño a la formación, incluso en el caso de las estimulaciones si no se tiene certeza de que tipo de minerales se encuentran presentes, se corre el riesgo de realizar una mala aplicación de los fluidos empleados para este fin con lo cual se pueden presentar efectos secundarios como la precipitación de compuestos indeseables.

En segundo lugar, se considero el punto de vista económico, es decir, la posibilidad de minimizar las inversiones posteriores que debería realizar la empresa tras una mala operación de campo, como por ejemplo, un reacondicionamiento de pozo. Si durante la construcción de un pozo se genera daño a la formación por interacción roca/fluido (específicamente por no tomar en cuenta la composición mineralógica de las formaciones productoras). Es muy probable que sea necesario realizarle un reacondicionamiento al pozo para tratar de llevar la producción a los niveles esperados.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Antecedentes.**

Conocer la mineralogía de la formación de interés es vital para prevenir daños por interacción roca/fluido generado por incompatibilidad entre los fluidos empleados en las operaciones de campo y la matriz de la formación. Dicho daño se genera cuando los fluidos empleados para fines diversos como el caso de las perforaciones es incompatible con las partículas que se encuentran en la formación y esto genera una reacción entre ellos que luego se traduce en migración o hinchamiento de dicha partícula trayendo como consecuencia obstrucción de las porosidades, reducción de la permeabilidad y baja producción. En la actualidad no se ha realizado ningún estudio de la caracterización de arcilla cementantes en el Campo El Roble, pero si se han llevado a cabo ciertos proyectos relacionados con el tema, ya sea en cuanto, a caracterización de arcillas, al campo, la técnica utilizada, entre otras. Los siguientes planteamientos de diversos trabajos de grados fueron tomados en consideración para el desarrollo de este trabajo.

**Bermúdez L. (2008)**, desarrolló el estudio titulado “Caracterización de las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al Campo Guarío del Distrito de Producción Gas Anaco” en el cual se realizó un estudio mineralógico a muestras de núcleos del Campo disponibles en la Nucleoteca, mediante la aplicación de la técnica de Difracción de Rayos X. Concluyendo que es muy importante conocer con exactitud que se debe seleccionar con buena precisión el fluido para las dichas operaciones de campo, porque no es un proceso que deba tomarse a la ligera; ya que de esta selección depende en gran medida el éxito de la operación que se esté



---

llevando a cabo en ese momento y por supuesto esto también es vital para prevenir el daño a la formación por la interacción entre la roca y los fluidos. <sup>[1]</sup>.

**Hernández M. (2008)**, realizó un estudio titulado “Caracterización de las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al campo Santa Rosa del Distrito de Producción Gas Anaco” donde el problema existente en ese campo era que no se consideraban los distintos tipos de arcillas; por lo cual era imposible controlar la reacción partícula/fluido, lo que conllevó a una reducción considerable de los niveles de producción. En el mismo orden, se basó en análisis de núcleos, y aplicó la técnica de difracción de rayos X. Mediante los análisis determinó que en las arenas estudiadas estaban presentes en su mayoría las arcillas clorita y caolinita. <sup>[2]</sup>

**Akch y Díaz (2007)**, a partir de un análisis nodal, mediante el simulador PERFORM, el cual les permitió determinar el comportamiento actual y futuro de los pozos en la arena ME-T 4,5 Del Campo el Roble, en el Área Mayor De Anaco, mediante cálculos de caídas de presión, así como gastos de los fluidos producidos, y de esta manera, lograron determinar las curvas de comportamiento de afluencia y el potencial de producción del yacimiento. <sup>[3]</sup>

**Bello P. (2008)** Realizo un análisis de Difracción de Rayos X el cual permitió determinar los minerales en la Sección Roca Total y las proporciones relativas de los minerales de arcilla en la sección menor a dos micras, con los resultados obtenidos fue posible generar mapas de tendencias donde se muestran la distribución de las arcillas a lo largo de las arenas estudiadas del Campo San Joaquin. <sup>[4]</sup>.



---

## **2.2. Descripción del Área de Estudio**

### **2.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela.**

La Cuenca Oriental de Venezuela comprende los Estados: Guárico, Anzoátegui y Monagas, así como la extensión meridional del Estado Sucre y el Estado Delta Amacuro, prolongándose mar adentro hacia la plataforma Deltana y el Sur de Trinidad. Es la segunda cuenca petrolífera más importante de Venezuela en el ámbito económico, se encuentra limitada al Norte por la Cordillera de la Costa, al Sur por el Río Orinoco, al Este por la plataforma del Delta del mismo río y al Oeste por el lineamiento del Baúl.

#### **2.2.1.1. Distribución de la Cuenca Oriental de Venezuela.**

Ésta ha sido dividida operacionalmente en dos sub-cuencas: la de Guárico y la de Maturín.

La Sub-cuenca de Guárico.

Comprende los campos del Estado Guárico y parte del Norte del Estado Anzoátegui. El flanco Norte de la sub-cuenca se encuentra asociado al frente de deformación donde se ubica el sistema de fallas de Guárico el cual sobrecarga rocas cretáceas y terciarias en la misma dirección.

La Sub-cuenca de Maturín.

Está situada en el bloque levantado al Norte del Corrimiento de Anaco, cuyo rumbo aproximado es de N 50° E, a lo largo del cual resalta la presencia de una serie de domos, que son las estructuras donde se localizan las acumulaciones de hidrocarburos de la región. La historia estructural de ésta área encierra: tensión, compresión, levantamiento, plegamiento y erosión.



---

Dentro de la Sub-cuenca de Maturín se encuentra el Distrito Anaco de PDVSA GAS el cual se encuentra dividido en dos extensas áreas operacionales como son:

- ♦ **Área Mayor Oficina (AMO):** Integrada por los Campos: Soto-Mapiri, La Ceibita, Zapato Mata R y Aguasay. Está ubicada en la parte Sur de la zona central del Estado Anzoátegui; con un área de 10.240 km<sup>2</sup>. Ésta área cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 430 MMPCND, con un potencial de extracción de líquidos de 9.000 BND.
- ♦ **Área Mayor de Anaco (AMA):** Ubicada en la parte Norte de la zona central del Estado Anzoátegui, con una área de 3.160 km<sup>2</sup>, integrada por los Campos: El Roble, Santa Ana, Guarío, El Toco, Santa Rosa y San Joaquín. Está situada en el bloque levantado al Norte del Corrimiento de Anaco. En esta área se encuentra el Campo Roble donde se realizará el presente estudio.

### 2.3. Corrimiento de Anaco.

El Corrimiento de Anaco es un elemento estructural de carácter compresivo, producto del origen tectónico, concretamente una falla de tipo inverso, de gran magnitud, que corta en forma oblicua el rumbo general del flanco sur la Cuenca Oriental de Venezuela; marca el límite noroeste del Área Mayor de Oficina y es un rasgo estructural mayor de la Cuenca Oriental. Se considera un fallamiento joven y basándose en correlaciones de sedimentos de la Formación Freites, erosionados en el Campo Santa Ana, se ha intentado determinar importantes movimientos durante la sedimentación de la secuencia medio superior de esta formación, cuya edad es Mioceno Tardío. Este corrimiento se encuentra en la parte central del Estado Anzoátegui y se extiende por 85 km en dirección N 40° E desde el Campo El Toco en el sur hasta el este del Campo La Ceiba en el norte, con un buzamiento del plano de falla promedio de 45° al noroeste, que decrece notablemente a profundidad y puede



---

llegar a confundirse con los planos de buzamiento. El desplazamiento de esta falla tiene un máximo de 7.000' en el Campo Santa Rosa y disminuye hasta 700' en Santa Ana; cerca del campo El Toco tiende a desaparecer. Constituye el límite sur de la acumulación de hidrocarburos del Área Mayor de Anaco.

#### **2.4. Generalidades del Campo el Roble.**

El campo El Roble está ubicado en la Cuenca de Maturín, 12 km al Noreste del campo San Joaquín. Su estructura está representada por un anticlinal de buzamiento suave que cierra en dirección Noreste-Suroeste con una extensión de 6,6 km. Se encuentra en el límite de los distritos Aragua y Freites y al Noroeste del Campo Buena Vista.

##### **2.4.1. Ambiente de Sedimentación.**

El ambiente de sedimentación es transicional, fluvio- deltaico con el desarrollo hacia la parte Norte del área de un cinturón de meandros y hacia la parte central, de un sistema de canales entrelazados, con el cual está asociado la zona de condiciones geológicas más favorables para la acumulación de hidrocarburos.

La secuencia sedimentaria del subsuelo de esta área se extiende desde el Mioceno, Plioceno y por último el más joven, el Pleistoceno, se caracteriza por presentar una columna estratigráfica que se destaca por una secuencia de rocas sedimentarias de gran prosperidad petrolífera depositada en el intervalo geológico comprendido entre el Cretáceo y el Mioceno Medio del Terciario. En ellas están presentes las Formaciones: San Antonio, San Juan, Vidoño, Merecure y Oficina principalmente con remanentes localizados de Mesa y Freites.



---

La Formación Merecure constituida principalmente por capas delgadas de areniscas, limolitas y lutitas, la Formación San Juan, Vidoño y San Antonio de carácter eminentemente arenoso y facies carbonáticas.

Los crudos en el Área Mayor de Anaco tienen una composición parcialmente uniforme lo cual indica un origen común, y el fuerte elemento parafinoso posiblemente tiene que ver con una fuente herbácea en el ambiente fluvial deltaico, el cual es menos marino que la sección productora.

El acceso a una fuente más profunda y más joven, posiblemente es transmitido por la falla inversa de Anaco, la cual incorpora las facies marinas sobre las terrestres y quizás permite la intercomunicación de diversas fuentes productoras.

#### **2.4.2. Estratigrafía del Área de Estudio.**

La secuencia sedimentaria correspondiente al subsuelo del área de estudio se muestra a continuación. Allí se observa que los estratos más someros corresponden a los Miembros: Blanco, Azul, Moreno, Naranja, Verde, Amarillo y Colorado de la Formación Oficina, seguida por la Formación Merecure, Vidoño, San Juan y Temblador.

##### **2.4.2.1. Formación Mesa.**

La culminación del proceso sedimentario de la Cuenca Oriental está representada por la Formación Mesa, de ambiente continental. Se extiende sobre los Llanos Orientales de Guárico, Anzoátegui y Monagas. Está formada por arcillas solubles de color rojizo, crema y grisáceo, alternado hacia la base con areniscas de grano grueso, gujarros, peñas y peñones.



---

#### **2.4.2.2. Formación Las Piedras.**

Ésta unidad se caracteriza litológicamente por la presencia de sedimentos mal consolidados que incluyen areniscas, limolitas carbonáceas, arcilitas y lignitos, y su edad data del Plioceno. Presenta a lo largo de la Cuenca Oriental de Venezuela, un espesor máximo de 5.000 pies.

#### **2.4.2.3. Formación Freites.**

Se tiende en discordancia local sobre la Formación Oficina, de Edad Mioceno medio a superior, ésta formación se caracteriza por ser esencialmente lutítica, con conglomerados y calizas arenosas en la base y con areniscas, guijarros y arcilitas en capas delgadas al intervalo superior.

#### **2.4.2.4. Formación Oficina.**

Geológicamente, el Área Mayor de Anaco presenta una columna estratigráfica muy variada y accidentada, ya que su estructura parte desde el Cretáceo de la Era Mesozoica pasando por el Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno, y por último el más joven Pleistoceno. Se presenta en el subsuelo todo el flanco Sur de la Cuenca Oriental, en los Estados Anzoátegui y Monagas y está constituida por los siguientes miembros:

- ◆ **Miembro Blanco:**

En la parte del área se puede observar que esta depositado discordantemente encima del miembro Azul, el miembro Blanco esta compuesto de arenas poco consolidadas, limos y arcillas plásticas. No hay yacimientos y por lo tanto se considera de poco interés económico.





---

◆ **Miembro Azul:**

Ésta formada por lutitas limosas, color gris oscuro, con areniscas arcillosas micáceas, de granos finos y de color gris claro. En esta secuencia se encuentran fósiles de aguas marinas y salobres.

◆ **Miembro Moreno:**

En el tope y la parte media del estrato, se encuentra conformado por arcillas de color gris claro y gris verdosa, plástico, soluble, blando, limoso, con pequeñas intercalaciones de carbón, escasas intercalaciones de lutitas y areniscas cuarzo-cristalina, de grano fino a medio. La parte basal del estrato, está constituida por una lutita gris verdoso oscuro y gris verdoso claro, laminar, en parte en bloque, moderadamente dura a blanda, limosa, hidratable.

◆ **Miembro Naranja:**

Está caracterizado en el tope por una secuencia monótona de lutitas gris claro y gris oscuro, en bloque, blanda a moderadamente dura, en parte quebradiza, hidratable, ocasionalmente limosa, carbonosa, no calcárea. Luego continúa con lutitas gris oscuro y marrón oscuro, blanda a moderadamente dura, fisible, en parte quebradiza, limosa, microcarbonosa, levemente calcárea, con intercalaciones de limolita y areniscas cuarzo-cristalina, consolidadas, de grano fino a medio y porosidad visual regular. Hacia la base de este Miembro los espesores de areniscas y limolita son mayores.

◆ **Miembro Verde:**

Está conformado en la parte superior por lutitas gris claro y gris verdosa, en bloque, moderadamente dura, fisible, hidratable, microcarbonosa, micropirítica, ligeramente calcárea, con delgadas intercalaciones de arenisca y limolita. Hacia la parte media e inferior del miembro, se reconoce lutitas marrón oscuro, en bloque, blanda a moderadamente dura, fisible, ocasionalmente quebradiza, en



---

parte limosa, hidratable y microcarbonosa, con intercalaciones que presentan mayor espesor de limolitas y areniscas de grano fino, con pobre porosidad visual e inclusiones de carbón.

♦ **Miembro Amarillo:**

Predominan las lutitas gris oscuro y gris medio, en bloque, blanda a moderadamente dura, fisible, hidratable, soluble, en parte limosa, microcarbonosa, micropirítica, ligeramente calcárea, con intercalaciones de areniscas de grano fino a muy fino. Hacia la base del estrato existe abundante lutitas gris claro y marrón claro, en bloque, en parte laminar, blanda a moderadamente dura, en parte limosa, microcarbonosa, micropirítica y ligeramente calcárea.

♦ **Miembro Colorado:**

El Miembro Colorado está conformado por intercalaciones de lutitas y bloques de areniscas. Las lutitas son de color gris oscuro, gris medio, sublaminar, blanda a moderadamente dura, fisible, en parte quebradiza, en parte limosa, microcarbonosa, micropirítica, no calcárea. Las areniscas son blanquecinas, beige, cuarzo-cristalinas, de grano fino a medio, subangular a subredondeado, matriz arcillosa, cemento silíceo, con inclusiones de carbón, abundante cuarzo libre. También muestra lentes de carbón negro, moderadamente duro.

#### **2.4.2.5. Formación Merecure.**

El ambiente de la Formación Merecure, en el Área Mayor de Anaco y en el Área Mayor Oficina, es probablemente de aguas dulces a salobres, y corresponde al comienzo de la transgresión del Terciario medio que continuará durante el Mioceno inferior y medio.



---

Esta formación posee un espesor máximo de 1.900 pies aproximadamente y se caracteriza por la abundancia de areniscas masivas de grano medio, sucias, con estratificación cruzada, presentan intercalaciones, capas de lutitas que aparecen y desaparecen lateralmente, esto nos indica que la deposición fue en un ambiente de gran actividad de origen continental y fluvial.

#### **2.4.2.6. Formación San Juan.**

Se caracteriza por la presencia de areniscas masivas grises bien estratificadas, de grano fino a medio, bien escogido, localmente glauconíticas y a veces calcáreas. La presencia de microfósiles indica una edad del Maestrichtiense y representa el primer horizonte Cretáceo. El contacto con la infrayacente formación San Antonio es concordante y transicional. La formación San Juan es de ambiente nerítico–costero donde el aporte arenoso, uniforme, lento y constante originó la regularidad en la distribución, la buena estratificación y el gran porcentaje de arenas de la formación.

Posee un máximo espesor de 1.800 pies aproximadamente y está constituida por tres arenas principales: SJ-A, SJ-B y SJ-C, las cuales presentan escasas intercalaciones de lutitas, con matriz arcillosa y cemento silíceo.

El intervalo superior correspondiente a SJ-A está formado por areniscas cuarzo-cristalinas, beige y marrón oscuro, de grano fino a medio, mientras que SJ-B presenta areniscas beige, gris oscuro y marrón oscuro, de grano fino a muy fino con intercalaciones de lutita. Luego subyace SJ-C con el predominio de areniscas gris claro, gris verdoso y beige, de grano fino a medio, friable y buena porosidad visual.



---

#### **2.4.2.7. Formación San Antonio.**

Esta sección se caracteriza litológicamente por la presencia de areniscas grises y lutitas oscuras con intercalaciones calcáreas perteneciendo a una edad cretácea. Representa la formación más antigua perforada en el campo Santa Rosa.<sup>[3]</sup>

### **2.5. Definición de Términos Básicos.**

#### **2.5.1. Yacimiento.**

Acumulación de hidrocarburos en el interior de la tierra que se forma cuando las rocas en el subsuelo presentan condiciones adecuadas para quedar atrapados. Existen yacimientos de petróleo, gas, bitúmen o combinación de ellos.

#### **2.5.2. Reserva.**

Se define como volumen de hidrocarburos presentes en los yacimientos que pueden ser recuperados. Ellos constituyen el capital de la industria, por lo tanto es importante su clasificación en términos de la seguridad que se tenga de su existencia.

#### **2.5.3. Permeabilidad.**

Capacidad de las rocas de permitir el flujo de líquidos o gases a través de sus espacios vacíos. Es la medida de la capacidad de una roca para permitir el movimiento de fluidos a través de ella. Para que un yacimiento sea comercial es necesario no sólo que la roca contenga petróleo o gas sino que estos fluidos puedan desplazarse dentro de la roca y salir a la superficie. Por consiguiente, la roca es permeable cuando los poros están interconectados. La unidad de permeabilidad es el darcy, pero comúnmente se utiliza la milésima parte: el milidarcy (mD).



---

#### **2.5.4. Porosidad.**

Volumen de las rocas ocupado por espacios vacíos entre los granos minerales, en estos espacios donde se acumula petróleo, gas y/o agua. Es el volumen poroso por unidad de volumen de la formación. Es la fracción del volumen total de una muestra que está ocupada por poros o espacios vacíos. Se conocen 2 tipos de porosidad: absoluta o total, en la cual se considera el volumen total de poros, estén interconectados o no, y la efectiva, en la que se considera para el cálculo del volumen sólo los poros interconectados. La diferencia entre ambas se denomina porosidad no efectiva. La porosidad que se obtiene del análisis de núcleos es confiable y nos puede servir de referencia para correcciones y/o correlaciones.

#### **2.5.5. Arcillosidad.**

Es una arenisca además de los granos de cuarzo y del fluido presente también se encuentran arcillas. A mayor arcillosidad, menor resistividad. Una forma rápida de evaluarla es midiendo la Capacidad Intercambio Catiónico (CEC), teniendo presente que en capas superiores existe menor arcillosidad que en capas inferiores.

#### **2.5.6. Saturación de Agua ( $S_w$ ).**

La fracción del espacio poroso ocupado por el agua se denomina saturación de agua. La saturación de agua de una formación puede variar de un 100 % hasta un valor muy pequeño, sin embargo; muy rara vez es nula sin importar qué tan rica sea la roca del yacimiento de petróleo o gas, siempre habrá una pequeña cantidad de agua capilar que el petróleo no puede desalojar; generalmente dicha saturación se conoce como saturación de agua irreductible o connata.<sup>[5]</sup>



---

## 2.6. Definiciones de las Arcillas.

- Las arcillas son esencialmente silicatos hidratados de aluminio formados por hidrólisis natural o acción atmosférica (por meteorización) de los feldespatos y varios aluminos silicatos alcalinos originarios de rocas ígneas. Las arcillas presentan un tamaño (granulometría) de partícula que va desde 1 micrón hasta 10 milimicrones. Ese tamaño le confiere a las arcillas propiedades “coloidales”. Una típica partícula de arcilla es una lámina delgada de cerca de 10 Angstroms (Å) de espesor por 10.000 (Å) de largo y otro tanto de ancho. Se deduce que una simple partícula coloidal puede estar compuesta de miles de átomos. La superficie específica es una propiedad muy ligada al carácter coloidal de las arcillas.
- Del latín: argilla, se le denota arcilla; término que designa un mineral o una roca compuesta esencialmente por estos minerales, pertenecientes al grupo de filosilicatos hidratados que se presentan en cristales muy pequeños, algunos en láminas hexagonales o a veces en fibras. Su estructura es identificable por análisis de Rayos X (por difracción) y se caracteriza por la superposición de hojas compuestas de capas tetraédricas y de capas octaédricas.
- La lutita es la roca sedimentaria clástica que se compone principalmente de partículas que están incluidas en la clase de tamaño de arcilla (tamaño medio inferior a 4 micrones). Para entender la naturaleza de los sedimentos de arcilla y la lutita, es importante comprender que el término “arcilla” tiene dos definiciones. Una definición de la arcilla es una clase de tamaño de partículas sedimentarias. La otra definición se refiere a una clase de minerales conocidos como minerales arcillosos. Como regla general, los minerales arcillosos son partículas que caen dentro de la clase de tamaño de arcilla, pero otros minerales no arcillosos, tal como el cuarzo y el feldespato, también pueden estar presentes en partículas lo suficientemente pequeñas para ser clasificados como arcilla,



---

desde el punto de vista de la granulometría. La arcilla es un sedimento, y la lutita es una roca compuesta de partículas de tamaño de arcilla.

## **2.7. Historia, Uso y Ejemplo de las Arcillas.**

La arcilla tiene propiedades de la materia plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuándo se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica (loza, gres y porcelana), objetos de alfarería, de uso práctico y decorativo, objetos de uso cotidiano: platos, objetos de arte, sarcófagos, instrumentos musicales, cemento, papel y obtener sustancias de filtrado, en tiempos prehistóricos fabricaban las vasijas. También para construir: edificaciones, de tapial, adobe y como soporte de escritura.

Un buen ejemplo son las arcillas (a veces llamadas arcillas tipo “gumbo”) encontradas en los jardines o a lo largo de las riberas. Estas arcillas son frecuentemente blandas y plásticas cuando están mojadas, pero se vuelven duras cuando están secas. Esta propiedad física de “blanda cuando mojada, dura cuando seca” se puede relacionar con la presencia de ciertos minerales arcillosos. Arcilla también se usa como término general para describir las partículas que tienen un diámetro inferior a 2 micrones, las cuales incluyen la mayoría de los minerales arcillosos. Los minerales arcillosos son minerales de silicato aluminico de granos finos que tienen microestructuras bien definidas. En la clasificación mineralógica, los minerales arcillosos están clasificados como silicatos estratificados porque la estructura dominante se compone de camas formadas por capas de sílice y alúmina. Cada capa consta de una estructura laminar y delgada, llamada “capa unitaria”. Por ejemplo, un mineral de silicato estratificado típico sería la Mica o la Vermiculita, las cuales pueden separarse en capas finas a lo largo de los planos de clivaje. La mayoría



---

de los minerales arcillosos tienen una morfología laminar. Según las unidades repetidas de la estructura, estos se pueden clasificar de acuerdo a las relaciones de capas de sílice a capas de alúmina; además de sí los minerales arcillosos son estratificados o en forma de aguja.

En la industria de fluidos de perforación, ciertos minerales arcillosos tales como la Esmectita, uno de los principales componentes de la Bentonita, son usados para proporcionar viscosidad, estructura de gel y control de filtrado. Las arcillas de la formación se incorporan inevitablemente en el sistema de fluido de perforación durante las operaciones de perforación y pueden causar varios problemas. Por lo tanto, los minerales arcillosos pueden ser beneficiosos o dañinos para el sistema de fluido. El término Bentonita se usa para describir la Montmorillonita sódica explotada comercialmente (la cual constituye una forma de Esmectita) que se usa como aditivo para el lodo de perforación (por ejemplo: M-I GEL o M-I GEL SUPREME™). Debido a sus pequeños tamaños de partículas, las arcillas y los minerales arcillosos son analizados con técnicas especiales tales como: la Difracción de Rayos X, la absorción infrarroja y la microscopía electrónica.

## **2.8. Química de las Arcillas.**

Los minerales arcillosos son minerales de silicato aluminico de granos finos que tienen microestructuras bien definidas. En la clasificación mineralógica, los minerales arcillosos están clasificados como silicatos estratificados porque la estructura dominante se compone de capas formadas por capas de sílice y alúmina. Cada capa consta de una estructura laminar y delgada, llamada capa unitaria. La mayoría de los minerales arcillosos tienen una morfología laminar. Según las unidades repetidas de la estructura, los minerales arcillosos también se pueden clasificar de acuerdo a la relación de capas de sílice a capas de alúmina, tal como 1:1,





---

2:1 y 2:2, además de si estos minerales arcillosos son estratificados o en forma de aguja.

En la industria de fluidos de perforación, ciertos minerales arcillosos tales como la esmectita, uno de los principales componentes de la bentonita, son usados para proporcionar viscosidad, estructura de gel y control de filtrado. Las arcillas de la formación se incorporan inevitablemente en el sistema de fluido de perforación durante las operaciones de perforación y pueden causar varios problemas. Por lo tanto, los minerales arcillosos pueden ser beneficiosos o dañinos para el sistema de fluido. El término bentonita se usa para describir la montmorillonita sódica explotada comercialmente (la cual constituye una forma de esmectita) que se usa como aditivo para el fluido de perforación. Debido a sus pequeños tamaños de partículas, las arcillas y los minerales arcillosos son analizados con técnicas especiales tales como la difracción de rayos X, la absorción infrarroja y la microscopía electrónica. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC), la adsorción de agua y el área superficial son algunas de las propiedades de los minerales arcillosos que suelen ser determinadas para lograr una mejor caracterización de los minerales arcillosos y minimizar los problemas de perforación y estimulación de pozos.

### **2.9. Propiedades Físico-Químicas de las Arcillas.**

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico- químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 micras).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.



---

Como consecuencia de estos factores, presentan por una parte un valor elevado del área superficial y a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla- agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas. Entre estas propiedades tenemos:

### **2.9.1. Superficie Específica.**

La superficie específica o área superficial de una arcilla constituye uno de los aspectos más importantes y se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $m^2/g$ . Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido- fluido depende directamente de esta propiedad. A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta  $15 m^2/g$
- Caolinita de baja cristalinidad hasta  $50 m^2/g$
- Halloisita hasta  $60 m^2/g$
- Illita hasta  $50 m^2/g$
- montmorillonitas  $80-300 m^2/g$
- Sepiolita  $100-240 m^2/g$
- Paligorskita  $100-200 m^2/g$



### 2.9.2. Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los cationes compensadores que se adsorben en la superficie de la capa unitaria pueden ser cambiados por otros cationes y se llaman los cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad de cationes por peso unitario de la arcilla es medida y registrada como la CEC (capacidad de intercambio catiónico). La CEC está expresada en miliequivalentes por 100 g de arcilla seca (meq/100 g). La CEC de la montmorillonita está comprendida dentro del rango de 80 a 150 meq/100 g de arcilla seca. La CEC de las ilitas y cloritas es de aproximadamente 10 a 40 meq/100 g, y la CEC de las caolinitas es de aproximadamente 3 a 10 meq/100 g de arcilla. La Prueba de Azul de Metileno (MBT) es un indicador de la CEC aparente de una arcilla. Cuando se realiza esta prueba sobre un fluido, se mide la capacidad total de intercambio de azul de metileno de todos los minerales arcillosos presentes en el fluido. Normalmente se registra la Capacidad de Azul de Metileno (MBC) como cantidad equivalente de bentonita de Wyoming requerida para obtener esta misma capacidad.

Es importante notar que la prueba no indica directamente la cantidad de bentonita presente. Sin embargo, la cantidad aproximada de bentonita y sólidos en el fluido puede ser calculada basándose en el hecho de que los sólidos de perforación normales tienen una CEC equivalente a 1/9 de la CEC de la bentonita, y si se calcula la cantidad de sólidos de perforación presentes en el fluido a partir de un análisis de retorta. Este cálculo aproximado de la cantidad de bentonita añadida y sólidos de perforación puede ser más preciso cuando se mide la MBC de los recortes de perforación. Este procedimiento puede ser útil para evaluar la cantidad y la calidad de las arcillas en el fluido. Para hacerse una idea de los cationes que reemplazarán a otros cationes en las posiciones de intercambio, se acepta generalmente la siguiente secuencia, disponiéndola en orden de preferencia decreciente:  $H^+ > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Li^+$ . Es decir que cualquier catión a la izquierda



---

reemplazará a cualquier catión ubicado a su derecha. La concentración relativa de cada catión también afecta esta preferencia de intercambio catiónico. Aunque resulte más difícil reemplazar el calcio que el sodio, si la concentración iónica de  $\text{Na}^+$  es considerablemente más alta que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ , el sodio desplazará al calcio.

El intercambio catiónico puede resultar de un cambio de temperatura visto que muchos compuestos tienen diferentes relaciones de solubilidad a temperatura. La solubilidad de algunas de las sales cálcicas comunes, tales como  $\text{CaSO}_4$ , disminuye a grandes temperaturas, mientras que la solubilidad de la mayoría de los compuestos de sodios aumenta. A medida que la concentración de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  aumenta, los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  de la arcilla tienden a ser reemplazados por los cationes  $\text{Na}^+$  de la solución. La CEC es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidróxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y



---

representan el 20 % de la carga total de la lámina. A continuación se muestran los valores de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g) para algunas arcillas comunes:

- Caolinita: 3-5
- Halloisita: 10-40
- Illita: 10-50
- Clorita: 10-50
- Vermiculita: 100-200
- Montmorillonita: 80-200
- Sepiolita-paligorskita: 20-35.

### **2.9.3. Capacidad de Absorción.**

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato). Se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

### **2.9.4. Hidratación e Hinchamiento.**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo



---

de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

#### **2.9.5. Plasticidad.**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o



---

viscoso (Jiménez Salas, 1975). La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

#### **2.9.6. Tixotropía.**

Se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.<sup>[4]</sup>

#### **2.10. Tipos de Minerales de las Arcillas.**

Existe un gran número de minerales arcillosos, pero los que nos interesan en relación con los fluidos de perforación pueden ser clasificados en tres tipos:



---

### **2.10.1. Clasificación de las Arcillas según la Relación con los Fluidos de Perforación y Completación.**

El primer tipo consta de arcillas en forma de aguja no hinchables, tales como: Atapulguita y Sepiolita. El segundo tipo, son las arcillas laminares no hinchables o ligeramente hinchables, como lo son: Caolinita, Ilita y Clorita; también llamadas “arcillas autigénicas”; y el tercer tipo son las Montmorillonitas laminares muy hinchables; todas las anteriores se describen a continuación:

#### **2.10.1.1. Arcilla Atapulguita y la Sepiolita.**

Una arcilla coloidal viscosificante que se usa principalmente en lodos base de agua salada. La Atapulguita, una tierra de Fuller especial, es un silicato de aluminio de magnesio hidratado. Se cree que la forma de las partículas es responsable de la capacidad que la arcilla tiene para aumentar su viscosidad. Debido a su forma y a sus características no hinchables estas arcillas demuestran un control de filtración muy débil. Por este motivo, la Atapulguita se usa principalmente como mejorador de viscosidad en los fluidos base agua salada; mientras que la Sepiolita se usa principalmente como viscosificador suplementario para los fluidos geotérmicos y de alta temperatura. Estas arcillas casi nunca están presentes en las lutitas de las formaciones. M-I vende la Atapulguita bajo el nombre SALT GEL®, y la Sepiolita bajo el nombre DUROGEL®.

#### **2.10.1.2. Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).**

No tiene agua interlaminar. No se expande, pero se fractura y migra, por efecto de la concentración iónica del medio. Se reconoce fácilmente en microfotografías por su aspecto de láminas paralelas perfectamente colocadas unas sobre otras. Reducen en mayor porcentaje la porosidad. Su problema potencial son las partículas en





---

suspensión. Hay que evitar las altas tasas de flujos. Arcilla que contiene caolín, cuarzo y minerales accesorios. La mayor parte de las arcillas llamadas “silíceas y refractarias” son caoliníticas predominantemente. Es un importante mineral de la arcilla, son hojas fundamentales, de cuya superposición se origina el retículo cristalino, se distinguen dos tipos de estratos: uno constituido por tetraedros en cuyos vértices están situados átomos de oxígeno y con el centro ocupado por silicio y otro constituidos por octaedros con oxígeno en los vértices y aluminio en el centro. El retículo no tiene cationes metálicos, ni agua. La Caolinita es un producto de una lenta y compleja alteración hidrotermal (caolinización) de los feldespatos, feldespatoides y otros silicatos alumínicos presentes en muchas rocas, principalmente de tipo granítico y gnéisico. Estos minerales, en ambientes ácidos y en presencia de agua y de anhídrido carbónico a presión y temperatura baja, pierden los iones alcalinos y alcalinotérreos (pasados a la solución) y se transforma en silicatos de alúmina, entre los que predomina la Caolinita.

La caolinita es una arcilla no hinchable cuyas capas unitarias están fuertemente ligadas mediante enlaces de hidrógeno. Esto impide la expansión de la partícula, porque el agua no es capaz de penetrar en las capas. La caolinita no contiene cationes entre capas ni tiene cargas superficiales porque no se produce casi ninguna sustitución en las hojas tetraédricas u octaédricas. Sin embargo, algunas pequeñas cargas pueden resultar de los enlaces rotos o las impurezas. Por lo tanto, la caolinita tiene una capacidad de intercambio catiónico relativamente baja (de 5 a 15 meq/100 g). La caolinita se encuentra comúnmente como componente menor a moderado (5 a 20 %) de las rocas sedimentarias tales como las lutitas y las areniscas.



---

### 2.10.1.3. Ilita ( $K_{1,8} (Al_{1,6} Fe_{0,2} Mg_{0,2})(Si_{4,3} Al_{0,6}) O_{10}(OH)_2$ ), (arcillas de tres capas).

Se reconoce en microfotografías por su forma de agujas o cabellos. Es un mineral arcilloso específico con una estructura principal de aluminosilicato similar a la Esmectita, pero sin agua entre las capas. Los especialistas todavía no han dividido la Ilita en un grupo de minerales, pero algunos de ellos están probablemente empeñados en hacerlo. Es muy propensa a quebrarse y migrar por el movimiento de fluidos. Actúa como un puente, las partes de un grano se conectan con otras y van reduciendo la porosidad en mayor grado. En los minerales del grupo de la Ilita, las hojas elementales son idénticas o tienen la misma estructura a la Montmorillonita, entre ellas están:

- A. **Arcilla marina:** Especialmente en los tipos de mares profundos (abisales) que contienen minerales micáceos del grupo de la Ilita como la Montmorillonita y la Caolinita.
- B. **Arcilla de subsuelo:** Que puede consistir de caolinita e Ilita, presentándose solo Ilita si la arcilla es calcárea.

Las ilitas tienen la misma estructura básica que las montmorillonitas, pero no muestran la capacidad de hinchamiento entre capas. En vez de la sustitución de  $Al^{3+}$  por  $Mg^{2+}$  como en la montmorillonita, la ilita tiene una sustitución de  $Si^{4+}$  por  $Al^{3+}$ , lo cual aún produce una carga negativa. Los cationes compensadores son principalmente el ión potasio ( $K^+$ ). La carga negativa neta de la red que resulta de estas sustituciones, mediante los iones potasio compensadores, es generalmente mayor que la carga de la montmorillonita, pudiendo ser hasta una vez y media más grande que ésta.

El espacio entre las capas unitarias es de 2,8 Å. El diámetro iónico de  $K^+$  es de 2,66 Å. Esto permite que el  $K^+$  encaje perfectamente entre las capas unitarias,



formando un enlace que impide el hinchamiento en la presencia de agua. Como las capas unitarias no se hinchan ni se separan al ser expuestas al agua, los iones potasio ( $K^+$ ) presentes entre las capas unitarias no están disponibles para el intercambio. Sólo los iones potasio que se encuentran en las superficies exteriores pueden ser cambiados por otros cationes. Entre los minerales arcillosos 2:1, la esmectita, illita, y capas mixtas de illita y esmectita son encontradas durante la perforación de formaciones de lutita, causando frecuentemente distintos problemas relacionados con la estabilidad del pozo y el mantenimiento del fluido de perforación.

La naturaleza problemática de estos minerales arcillosos puede estar relacionada con los cationes débilmente enlazados entre las capas y las cargas débiles de las capas que producen el hinchamiento y la dispersión al entrar en contacto con el agua. A medida que la profundidad de entierro aumenta, la esmectita se convierte gradualmente en arcillas de capas mixtas de illita / esmectita, y finalmente en illita y mica. Como resultado, las formaciones de lutita se vuelven generalmente menos hinchables pero más dispersas en agua, a medida que la profundidad aumenta.

#### **2.10.1.4. Clorita ((MgFe)<sub>5</sub> (AlSi<sub>3</sub>) (AlO<sub>10</sub>) (OH)<sub>8</sub>).**

Se reconoce en microfotografías porque sus láminas planas están dispuestas en forma de rosetas u hojas de repollo. Esta arcilla no es propensa a disgregarse y migrar ni a expandirse, posee alto contenido de hierro. Reducen la porosidad. Su problema potencial es el FeOH y hay que evitar los sistemas de agua fresca. En las arcillas puede darse también los filosilicatos del grupo de las Cloritas, cuyo retículo cristalino está constituido por alternancia de hojas del tipo de la Illita con otras de Mg (OH)<sub>2</sub>, de estructura análoga a la brucita.

Dependiendo del medio en que se han desarrollado, pueden ser de distintos tipos básicos: Montmorillonita, Illita, Caolinita, Clorita y Vermiculita, cuyo tamaño de



---

partícula es inferior a 1/256 milímetros. Por este motivo, las arcillas pueden captar de manera muy efectiva grandes cantidades de agua, las cuales no fluyen, pero contribuyen a las respuestas de los registros. Los minerales arcillosos comunes encontrados en la lutita son: la Esmectita, la Ilita, la Clorita y la Caolinita. Estos minerales existen como partículas cristalinas muy pequeñas que corresponden al rango de tamaños de arcilla. El análisis de los tipos de minerales arcillosos presentes en una lutita puede ser realizado mediante las técnicas de Difracción de Rayos X (XRD).

Las cloritas están estructuralmente relacionadas con las arcillas de tres capas. Las cloritas no se hinchan en su forma pura, pero puede hacerse que hinchen ligeramente al ser modificadas. En estas arcillas, los cationes compensadores de carga entre las capas unitarias de tipo montmorillonita son reemplazados por una capa de hidróxido de magnesio octaédrico, o brucita. Esta capa tiene una carga positiva neta debido a la sustitución de ciertos  $Mg^{2+}$  por  $Al^{3+}$  en la capa de brucita. Las cloritas se encuentran frecuentemente en antiguos sedimentos marinos enterrados a grandes profundidades, y normalmente no causan ningún problema importante a menos que estén presentes en grandes cantidades. La capacidad de intercambio catiónico de la clorita varía de 10 a 20 meq/100 g, principalmente debido a los enlaces rotos. La distancia entre capas de clorita suele ser de aproximadamente 14 Å. La clorita también puede formar arcillas de capas mixtas con otros minerales arcillosos tales como la esmectita. La arcilla resultante de capas mixtas tendría las propiedades de ambos tipos de minerales arcillosos.

#### **2.10.1.5. Montmorillonita (arcillas de tres capas).**

Este término se emplea para señalar un filosilicatomonoclinico, de fórmula  $(Al_{1,67}Mh_{0,33}(H_2O)_2)$ , que se caracteriza por su particular estructura cristalina, debido a la superposición de estratos de moléculas de agua, coordinados por un ión sodio



---

(ion intercambiable), que puede ser sustituido con facilidad por otros iones. Es un mineral común que corresponde al grupo de minerales de Esmectita sin embargo en la perforación se usan los términos Montmorillonita o Bentonita en vez del término Esmectita para describir la arcilla que contiene agua en su estructura estratificada.

La Montmorillonita sódica (Bentonita de Wyoming, M-I GEL y M-I GEL SUPREME) también se añade normalmente a un lodo para aumentar la viscosidad y reducir el filtrado. Las propiedades de filtración y reológicas del lodo dependen de las cantidades de las diferentes arcillas contenidas en el lodo. Como la montmorillonita es añadida intencionalmente a un lodo para controlar estas propiedades, los otros tipos de arcillas pueden ser considerados como contaminantes, visto que no son tan eficaces como una arcilla comercial. La Montmorillonita presente en las lutitas es generalmente cálcica, porque está en equilibrio con el agua de la formación, la cual es generalmente rica en calcio. Las propiedades de filtración y reología del fluido dependen de las cantidades de las diferentes arcillas contenidas en el fluido. Este grupo de minerales incluye: la Hectorita, la Saponita, la Nontronita y otros minerales específicos. Y como un tipo de esta se tiene la Esmectita ( $\text{Na}_{0,33} \text{Al}_{1,6} \text{Mg}_{0,33} \text{Si}_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ): Se reconoce en las microfotografías por su apariencia de hojuelas continuas, formando estructuras en forma de colmena.

El agua de baja concentración salina y otras moléculas polares, incluyendo orgánicas, pueden expandir la Esmectita, hasta separar completamente las capas. Su problema potencial es el hinchamiento y hay que evitar los sistemas de agua fresca. La Esmectita es claramente mucho más reactiva que otros materiales minerales arcillosos. Las lutitas que contienen Esmectita son las más sensibles al agua y las más hidratables. Además de adsorber el agua y la capacidad de hidratación, aunque puedan ser sensibles al agua. La mayoría de las lutitas contienen varios tipos de arcillas en cantidades variables. La reactividad de una lutita depende de los tipos y de las cantidades de minerales arcillosos presentes en la lutita. Muchas veces, la CEC



---

constituye una mejor medida de la reactividad de la arcilla que el análisis mineralógico deducido del análisis de Difracción de Rayos X.

En la Montmorillonita sódica Si se sustituye un átomo de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) por un solo átomo de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en la estructura reticular (disposición de los átomos), esta tendrá un electrón excedente o una carga negativa. La carga negativa neta es compensada por la adsorción de cationes (iones positivos) en las superficies de la capa unitaria, tanto en las superficies interiores como en las superficies exteriores del apilamiento. Los cationes que se adsorben en las superficies de las capas unitarias pueden ser cambiados por otros cationes y se llaman los cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad de cationes por peso unitario de la arcilla se mide y se registra como capacidad de intercambio catiónico (CEC). El catión puede ser un ión de simple carga como el sodio ( $\text{Na}^+$ ) o un ión de doble carga como el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) o el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). De este modo, tenemos montmorillonita sódica, montmorillonita cálcica y/o montmorillonita magnésica. Aunque la bentonita de Wyoming esté generalmente definida como montmorillonita sódica, el calcio y el magnesio intercambiables pueden constituir de 35 a 67 % de la capacidad total de intercambio. La propiedad más típica de las montmorillonitas es la capacidad de hinchamiento entre capas (hidratación) con el agua.

Además de la sustitución del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) por el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en la red de montmorillonita, muchas otras sustituciones pueden ser realizadas. Por lo tanto, el nombre montmorillonita se usa frecuentemente como nombre de grupo que incluye muchas estructuras minerales específicas. Sin embargo, en los últimos años, se ha aceptado cada vez más el nombre esmectita como nombre de grupo, reservando el término montmorillonita para los miembros predominantemente aluminosos del grupo. Este grupo de minerales incluye la montmorillonita, la hectorita, la saponita, la nontronita y otros minerales específicos.

En La **Tabla 2. 1** contiene un resumen de los minerales arcillosos, con su respectiva estructura (si se encuentra en capa o cadenas), carga, catión de intercambio y nivel de Hinchamiento. <sup>[1]</sup>.

Grupo	Estructura	Carga	Catión de intercambio	Distancia interatómica (Å)	Hinchamiento
Kaolinita	capa 1:1	Nula	Ninguno	7,2	Ninguno
Talco	capa 2:1	Nula	Ninguno	9,3	Ninguno
Esmectita	capa 2:1	0,3 - 0,6	Na <sup>+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ; K <sup>+</sup> ; Mg <sup>2+</sup>	11 - 15	Variable
Vermiculita	capa 2:1	1,0 - 4,0	K <sup>+</sup> ; Mg <sup>2+</sup>	14 - 15	Variable
Ilita	capa 2:1	1,3 - 2,0	K <sup>+</sup>	10	Nulo
Mica	capa 2:1	2,0	K <sup>+</sup>	10	Ninguno
Chlorita	capa 2:2	Variable	Capa de brucita	14	Nulo
Sepiolita	cadena 2:1	Nula	Ninguno	12	Nulo
Paligorskita	cadena 2:1	Menor	Ninguno	10,5	Nulo

**Tabla 0.1 Arcillas Encontradas Comúnmente. (M.I. Drilling 1.998.)** <sup>[1]</sup>.

### 2.11. Problemas Ocasionados por las Arcillas.

Ciertamente se tiene que, la armonía que debe existir entre los fluidos empleados en las operaciones de campo y las partículas presentes en la formación, debe ser casi total para poder prevenir la aparición de daño por la interacción entre los fluidos y las partículas de la formación de allí la importancia y la necesidad de contar con un estudio detallado de la composición mineralógica de las formaciones donde se estén practicando las operaciones.

Los datos obtenidos en la Difracción de Rayos X, por medio de la presencia de esta mineralogía nos demuestra que a mayor contenido de arcillas expansivas dentro de los poros de la arenisca produce una reducción en la porosidad, por ende, en la permeabilidad y en su defecto producen una reducción posteriormente en la productividad.



---

La probabilidad de tener pozos con problemas de pegas de tuberías es de 12.5%, en los últimos años la perforación de pozos en los Campos San Joaquín y Guario se ha visto afectada como consecuencia de la reactivación de la perforación de pozos en zonas depletadas y posiblemente fracturadas en los Campos San Joaquín y Guario en el Distrito Anaco, se ha observado problemas de pérdida de circulación y atascamiento de tubería a nivel de yacimiento objetivo de producción, dificultando la perforación específicamente en la Formación San Juan. Por tal motivo, se requiere relacionar los problemas operacionales de perforación con la presencia de fracturas naturales a través de un estudio geomecánico, citada por problemas de pérdida de circulación y atascamiento de tubería.

Afectando igualmente a la: estimulación, cañoneo, taponamiento, hidratación, fluidos de perforación y completación, perforación; además, también se debe tomar en cuenta los diferentes tipos o formas de daño a la formación, los cuales pueden ser clasificados según su naturaleza en daños de eflujo y daños de influjo. Para el propósito de este estudio, se concentrará en los daños de eflujo que será especificado a continuación. Las arcillas u otros finos mojados fuertemente de agua se dispersan rápidamente en la fase acuosa, pero se aglomeran o aglutinan en la fase oleosa. El problema en la remoción de daño de formaciones de arenisca con surfactante radica en que es difícil obtener un contacto íntimo del surfactante con los fluidos contenidos en los poros con daño. El bloqueo por agua es menos complejo de tratar; ya que este es más bien un problema de incremento de la permeabilidad relativa al crudo o de disminución de la tensión interfacial que de remoción de un bloqueo total de la formación. Cuando el remojo de crudo de una arenisca es causado por surfactantes catiónicos, ellos son muy difíciles de remover. La mejor solución es evitar el tratamiento de arenisca con surfactante catiónicos. Generalmente, es bastante difícil de diagnosticar con seguridad el daño de un pozo.<sup>[4]</sup>





---

## **2.12. Reservas.**

De todo el volumen de hidrocarburos presente en un yacimiento, sólo una fracción puede ser conducido hasta la superficie, debido a la existencia de fuerzas retentivas de fluidos en el yacimiento (presión capilar). Además, sólo una fracción de este último puede hacerse en condiciones de rentabilidad económica. El factor que agrupa estas dos fracciones se denomina “factor de recuperación” (FR) o factor de recobro y es característico de cada yacimiento.

### **2.12.1. Clasificación de reservas.**

Existen diversos criterios que pueden usarse para clasificar las reservas. Sin embargo dada la relación de propiedad de los yacimientos que mantiene el estado venezolano, se tomara la clasificación establecida por el Ministerio de Energía y Minas el cual clasifica las reservas de acuerdo al grado de incertidumbre que se tenga de ellas. De acuerdo a este criterio, las reservas se clasifican en:

#### **2.12.1.1. Reservas probadas.**

Se considera reserva probada al volumen de hidrocarburo contenido en el yacimiento, la cual haya sido constatada mediante pruebas de producción y que, según la información geológica y de ingeniería yacimientos disponibles, puedan ser producidas comercialmente. Dentro de esta categoría se incluyen:

- Aquellas reservas contenidas en yacimientos con producción comercial o donde se hayan realizado con éxito pruebas de producción o de deformación.
- Las reservas contenidas en yacimientos delimitados estructural y estratigráficamente y/o por contactos de fluido.



- Las reservas contenidas en áreas adyacentes a las ya perforadas, cuando existe una razonable certeza de producción comercial.
- Los volúmenes producibles de áreas aun no perforadas situadas entre yacimientos conocidos, donde las condiciones geológicas y de ingeniería indiquen continuidad.
- Los volúmenes adicionales producibles de yacimientos con proyectos comerciales de recuperación suplementaria (inyección de gas, inyección de agua, mantenimiento de presión, recuperación térmica u otros).
- En ciertas ocasiones, los volúmenes producibles de pozos en donde el análisis de núcleo y/o perfiles indican que pertenecen a un yacimiento análogo a otros que están produciendo del mismo horizonte, o que han demostrado su capacidad productora a través de pruebas de formación.

#### **2.12.1.2. Reservas probables.**

Las reservas probables son aquellos volúmenes contenidos en áreas donde la información geológica y de ingeniería indica, desde el punto de vista de su recuperación, un grado menor de certeza comparado con el de las reservas.

Dentro de esta categoría incluye:

- Los volúmenes que podrían recuperarse de yacimientos que han sido atravesados por pozos en los cuales no se ha efectuado pruebas de producción y las características de los perfiles indican con razonables certeza la probabilidad de su existencia.
- Los volúmenes que podrían a una distancia razonable, más allá del área probada de yacimientos productores, donde no se ha determinado el contacto agua – petróleo y donde el límite probado se ha establecido en función del pozo estructuralmente mas bajo.
- Los volúmenes que pudieran contener las áreas adyacentes a yacimientos conocidos, pero separados de estos por fallas sellantes, siempre que en dichas



---

áreas haya razonable certeza de tener condiciones geológicas favorables para la acumulación.

- Los volúmenes estimados de estudios de geología y de ingeniería realizados o que están en proceso, donde el juicio técnico indica, con menor certeza que en el caso de reservas probadas, podrían recuperarse de yacimientos probados si se aplicaran procedimientos comprobados de recuperación suplementaria.

### **2.12.1.3. Reservas posibles.**

Las reservas posibles son aquellos volúmenes contenidos en el área donde la información geológica y de ingeniería indican, desde el punto de vista de su recuperación, en grado menor de certeza comparado con el de las reservas probables.

Dentro de esta categoría se incluyen:

- Los volúmenes sustentados por pruebas de producción o de formación que no pueden ser producido debido alas condiciones económicas en el momento de la estimación, pero que seria rentable al utilizar condiciones económicas futuras razonablemente ciertas.
- Los volúmenes que podrían existir en formaciones con perfiles de pozo o núcleos de formación con características que presentan un alto grado de incertidumbre.
- Los volúmenes que podrían existir en segmento fallados no probados adyacentes a yacimientos probados, donde existe duda razonable sobre si ese segmento contiene volúmenes recuperables.<sup>[5]</sup>

### **2.13. Definición, Extracción y Análisis de Núcleos.**

Es una muestra de roca tomada a cualquier profundidad de un pozo petrolífero, obtenida por métodos especiales para preservar las características geológicas, físico-químicas y suministra datos importantes directos sobre el tipo de roca, porosidad, permeabilidad, contenido de fluidos e inclinación. Un método valioso de evaluación



---

del yacimiento es el análisis de núcleos. Un núcleo es un fragmento de roca que fue tomado en el yacimiento que se está estudiando. Fragmentos cilíndricos de roca (núcleos) de varios pies de largo pueden ser obtenidos al perforar con una barrena sacanúcleos especial conectada a un tubo estuche para núcleos.

La barrena solo corta la circunferencia exterior de la formación, y el cilindro de roca resultante queda capturado dentro del sacanúcleos. Pequeños núcleos de pared lateral pueden ser obtenidos con equipos de registro con cable después que una zona haya sido perforada. Los núcleos son examinados en cierta medida por un geólogo en el equipo de perforación, pero generalmente son enviados a un laboratorio de análisis de núcleos para una evaluación exhaustiva; pueden medir directamente: la porosidad, permeabilidad, contenido de arcilla, litología, indicios de petróleo y otros parámetros valiosos de la formación. La extracción de núcleos constituye una operación costosa y sólo se realiza cuando es necesario obtener los mejores datos directos sobre la formación.

## **2.14. Tipos de Procedimientos en los Análisis de Núcleos.**

### **2.14.1 Análisis de Núcleos de Diámetro Completo (full diameter).**

Este análisis consiste en describir la totalidad del núcleo y una de las técnicas usadas, puede consistir en secciones que han sido cortadas en cilindros exactos de diámetro completo o parcial. En general, una tercera parte del núcleo ya cortado se utiliza para su descripción y las dos terceras partes restantes se almacenan por parte para futuros estudios. Este tipo de análisis es utilizado en formaciones heterogéneas.



---

#### **2.14.2. Análisis de Tapones de Núcleos (plug- type).**

Los análisis de tapones de núcleos se realizan a partir de observaciones convencionales en el núcleo. Se toma solamente un pequeño intervalo el cual puede ser muestreado cada 3 ó 4 pulgadas por pie de núcleo. Este tipo de análisis es utilizado en secciones homogéneas.

#### **2.14.3. Análisis de Muestra de Pared (side wall).**

Es una técnica de recolección de muestras posterior a la perforación de la roca, en la cual se utilizan mecanismos de percusión con diferentes arreglos geométricos. Esta técnica es más conocida como “cañoneo de la formación”.

#### **2.14.4. Tipos de Análisis de Núcleos en el Laboratorio.**

A continuación se mencionan los análisis necesarios para determinar la composición mineralógica de la formación que se va a perforar o a diseñar un tratamiento químico. Las herramientas de algunos laboratorios disponibles son: Análisis de Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Técnica de Electrón Retrodispersado para Análisis de Ripios y Tapones de Núcleos, Microscopía Óptica de Secciones Finas (análisis petrográfico), Pruebas de Solubilidad en Ácido, Análisis de Tamizado (granulometría) y Curvas de Respuestas a Ácidos; pero también por otro lado existen: los diagramas ternarios para corroborar los minerales, petrografía, métodos de inyección de mercurio por medio de petrofacies, pero para este estudio se harán todos los análisis aplicados por medio de Difracción de Rayos X.



---

### **2.15. Difracción de Rayos X.**

Es una técnica de caracterización muy útil, que nos proporciona una información estructural muy detallada de estructuras epitaxiales. La Difracción de Rayos X o Cristalografía de Rayos X es una técnica consistente en hacer pasar un haz de Rayos X a través de un cristal de la sustancia sujeta a estudio. El haz se escinde en varias direcciones debido a la simetría de la agrupación de átomos y por difracción, da lugar a un patrón de intensidades que puede interpretarse según la ubicación de los átomos en el cristal, aplicando la Ley de Bragg. Es el fenómeno físico a través del cual se manifiesta la interacción fundamental de los Rayos X con los cristales (materia ordenada). Sin embargo, para poder describir el fenómeno, es recomendable introducir previamente algunos modelos físicos que, como todos los modelos, no explican totalmente la realidad, pues suponen una idealización de la misma, pero nos sirven para comprender el fenómeno. <sup>[4]</sup>.

### **2.16. Daños de Formación.**

Se define como daño de formación al cambio de permeabilidad y porosidad en las zonas aledañas al pozo, existiendo una zona dañada, conocido como “skin”, que puede tener unos pocos milímetros hasta varios centímetros de profundidad. Los daños a la formación pueden ser causados por desequilibrios químicos y/o físicos en la matriz de la roca o en los fluidos de la formación que, estando en equilibrio durante el tiempo geológico, se ven alterados por la introducción de fluidos extraños durante las operaciones de campo, con lo cual se reduce la permeabilidad. La temperatura, la composición de los fluidos inyectados, la tasa de inyección, el Ph y la mineralogía de la roca son el conjunto de variables que afectan la naturaleza y la extensión de las interacciones fluido/roca.



---

Evitar la reducción de la permeabilidad cerca del pozo es imprescindible para el éxito de cualquier completación de pozo, así como para mantener la productividad del mismo. Cualquier actividad, material o circunstancia que reduzca la permeabilidad de un yacimiento productivo respecto al flujo de hidrocarburos se puede clasificar como “daño a la formación”. Los pozos que requieren el control de arena son especialmente vulnerables a daños cerca del pozo, ya que la técnica principal para controlar la producción de arena, el filtro de grava, requiere que los fluidos potencialmente dañinos y la arena del filtro de grava hagan contacto con el yacimiento.

Para determinar el tipo de fluido más eficaz o más conveniente a usar en un pozo, se debe tomar en cuenta su vulnerabilidad frente a los daños de la formación. En la mayoría de los yacimientos, los costos adicionales relacionados con el uso de un fluido de completación base de salmuera clara serían compensados por la reducción de los daños a la formación y el aumento de la producción.

### **2.17. Origen de Daño a la Formación.**

La terminación de un pozo requiere de una serie de procesos durante los cuales existen movimientos de fluidos que pueden causar daños a la formación; éstos pueden ser:

#### **2.17.1. Daño Causado durante la Perforación del Pozo.**

Desde el momento en que la mecha entra en contacto con la zona productora, hasta que se abre el pozo de producción, la zona sufre exposición a una serie de fluidos y operaciones que afectarán en gran medida su capacidad productora. Este efecto en la productividad puede resultar de la interacción del filtrado del fluido de perforación con los minerales de la formación, y de invasión de sólidos contenidos en dicho fluido.



---

### **2.17.2. Invasión del Filtrado del lodo de Perforación.**

Los filtrados que causan menor daño a la formación son los que contienen iones divalentes, como el calcio y magnesio, independientemente de que el lodo sea base agua o en base aceite. Se han hallado reducciones de permeabilidad, en la zona invadida, hasta el 70 %.

### **2.17.3. Invasión de Sólidos del Lodo de Perforación.**

La penetración de los sólidos en los poros de la formación es mucho menos profunda que la penetración del filtrado, forzamientos en núcleos han mostrado un máximo de 8 cm; pero a pesar de esto, esta invasión puede reducir la permeabilidad hasta un 90 % en la zona invadida.

### **2.17.4. Daño Causado por el Cañoneo.**

El cañoneo siempre causa daño a la formación, ya que compacta la roca alrededor del túnel de perforación, produciendo una zona compacta de aproximadamente 12 mm de espesor, en el cual hay una reducción de la permeabilidad hasta del 80 %.

### **2.17.5. Daños Causados por los Fluidos de Completación y/o Reparación.**

Los daños causados por estos fluidos son esencialmente iguales a los causados por los fluidos de perforación. Ya que se trata de minimizar esos daños, se recomienda que estos fluidos sean filtrados durante todas las operaciones, para eliminar los sólidos y, puesto que normalmente no se agregan controladores de





---

filtrado, procurar que éste sea compatible con la formación y fluidos contenidos en ella.

#### **2.17.6. Causas de Daño a la Formación durante las Operaciones.**

- Daños durante la perforación.
- Daños durante la cementación.
- Daños durante terminación y reparación.
- Daños producidos durante estimulaciones químicas.
- Daños por estimulación no reactiva.
- Daños durante la producción.
- Daños causados durante el fracturamiento.
- Daños durante procesos de inyección de gas o agua.

#### **2.18. Daños de Eflujo.**

Son causados por el movimiento de fluidos del hoyo hacia la formación. Estos daños son considerados como restricciones; ya que se puede ejercer control sobre ellos por ser producto de acciones implementadas durante la perforación, completación y reacondicionamiento del pozo. Los más comunes son:

##### **2.18.1. Taponamiento.**

Es causado por bloqueo parcial o total de los poros con partículas contenidas en los fluidos de operación, tales como: lodo de perforación y fluidos de completación. Las partículas migran dentro de la roca y mientras más profundo penetran, menos resistencia encuentran por el incremento del espacio poroso disponible; sin embargo, cuando estas partículas migran hacia el pozo se reduce el número de poros



---

disponibles, ocasionando el taponamiento y reducción de la permeabilidad alrededor del hoyo.

### **2.18.2. Arcilla hidratada.**

Todos los yacimientos de areniscas contienen arcillas en sus poros. En las operaciones de perforación y completación de un pozo, generalmente se introduce fluido a la formación. Este fluido puede tener una composición química incompatible con las características de las arcillas presentes, que inducen a su hidratación y consiguiente aumento de tamaño. Esta expansión de la arcilla de formación puede bloquear el cuello poral, reduciendo sustancialmente la permeabilidad de la formación afectada.

### **2.18.3. Cambio de humectación.**

El petróleo y el agua son fluidos inmiscibles que comparten el espacio poroso. En general, la superficie sólida de la formación está cubierta por una película de agua que permite una mejor permeabilidad relativa al petróleo. El uso de un fluido inapropiado (surfactante) puede cambiar la condición de la roca, de mojada por agua a mojada por petróleo, aumentando la permeabilidad relativa al agua.

### **2.18.4. Formación de emulsiones.**

Cuando el fluido invasor no es compatible con el petróleo de la formación, se produce una emulsión estable muy viscosa que obstruye los canales porosos.



---

### **2.18.5. Bloqueo por agua.**

El agua tiene una tensión superficial alta. Las sales orgánicas disueltas tienden a aumentar más aún esta tensión. Cuando el agua con una alta tensión superficial entra en la formación con petróleo, la interfase resultante entre ambos fluidos puede llegar a ser muy difícil de romper. Esta condición se conoce como “bloqueo por agua”. Aquellos pozos que tienen mayor tendencia a formar bloqueos por el agua son los que están completados en formaciones de baja permeabilidad, donde los canales de flujo son muy reducidos, y también en formaciones que presentan baja presión de yacimiento. Estos bloqueos generalmente ocurren alrededor del pozo, y solo se extienden desde pocas pulgadas a pocos pies en la formación.<sup>[5]</sup>

### **2.19. Tratamiento para los Diferentes Tipos de Daño.**

La efectividad de un tratamiento químico depende de que se pueda eliminar el daño que limita la productividad; una vez que se ha cuantificado el daño y establecido su origen, pueden diseñarse procedimientos y fluidos para eliminarlo. A continuación los fluidos apropiados para el tratamiento de algunos daños:

#### **2.19.1. Cambios de Humectabilidad.**

El tratamiento indicado en este caso es una combinación de solvente mutuo, para eliminar los hidrocarburos, con un surfactante fuerte, que restaure la humectabilidad de la roca al agua. Este surfactante debe ser probado en el laboratorio, y variará para cada tipo de formación.



---

### **2.19.2. Bloqueos por Agua.**

Causado por el incremento en la saturación de agua en la vecindad del pozo, reduce la permeabilidad relativa a los hidrocarburos. Este bloqueo puede eliminarse reduciendo la tensión interfacial entre el agua y el petróleo o gas, por medio de surfactantes o alcoholes, particularmente las mezclas de alcohol y ácido.

### **2.19.3. Arcillas y Partículas Finas.**

Este daño incluye la invasión de la permeabilidad por el lodo de perforación, y el hinchamiento y/o migración de las partículas finas. El tratamiento recomendado es una formulación de ácido que contenga ácido fluorhídrico, o ácido fluobórico, para tratar arenas. La migración de finos en calizas puede tratarse con ácido.

### **2.19.4. Estabilidad de la Lutita y del Pozo.**

Prevenir la inestabilidad de las zonas con lutitas es muy importante para cada fase de la industria de fluidos de perforación, desde los esfuerzos de investigación y desarrollo hasta la implementación en el campo por el ingeniero de lodos. Nuevas tecnologías están siendo desarrolladas y aplicadas continuamente, mientras que las tecnologías anteriores son perfeccionadas.

La inestabilidad del pozo es causada por un cambio radical del esfuerzo mecánico y de los ambientes químicos y físicos durante la perforación, exponiendo la formación al lodo de perforación. Tal inestabilidad del pozo suele ser indicada por lutitas derrumbables, resultando en ensanchamiento del pozo, puentes y relleno. Las consecuencias más comunes son: la pega de la tubería, desviaciones del pozo, dificultades relacionadas con los registros y su interpretación, dificultades en la



---

recuperación de núcleos laterales, dificultades al meter la tubería de revestimiento, cementaciones de mala calidad, y la pérdida de circulación.

#### **2.19.5. Lutita Sensible al Agua.**

La mayoría de las veces, las lutitas sensibles al agua o hidratables contienen altas concentraciones de arcilla Montmorillonita. Por lo tanto, los sistemas de clasificación suelen usar el contenido de Montmorillonita como medida principal de la reactividad con los lodos base agua. Otras medidas útiles son la CEC, el contenido total de arcilla, el contenido de agua, la superficie y la dureza. Incluso las lutitas que contienen arcillas que se hidratan menos, como las lutitas de tipo Illita, Clorita o Caolinita son afectadas en cierta medida por la interacción con la química del lodo base agua. M-I no usa un solo sistema de clasificación de lutitas, porque ningún sistema en particular ha demostrado ser aplicable universalmente en todas las regiones del mundo. Es importante impedir la transferencia de agua entre el fluido de perforación y la lutita que puede causar la alteración de la lutita. Esto se puede lograr balanceando la actividad (concentración iónica) del lodo con la actividad de la lutita. También es necesario determinar si una salmuera de completación causará el hinchamiento, la desfloculación y/o la migración de las arcillas de la formación, especialmente en arenisca “compacta” de alto contenido de arcillas. El hinchamiento y la migración de arcillas pueden bloquear las aberturas de poro. Para prevenir el hinchamiento de las arcillas, la salmuera de completación debe tener una composición y una concentración de sales que sean compatibles con la formación en particular. Dos sales inhibidoras que son frecuentemente usadas en agua salada para las completaciones son  $\text{NH}_4\text{Cl}$  o Cloruro de potasio al 3 % respectivamente.<sup>[4]</sup>



---

## 2.20. Acidificación.

Hasta 1932, con el desarrollo de los inhibidores de corrosión, la acidificación fue ampliamente aceptada. En 1940, se inició la estimulación con el empleo de mezclas de HCl- HF. Actualmente se consume más de 200 millones de galones de ácido en las estimulaciones. En la mayoría de los casos, cuando un pozo deja de producir o no permite la inyección de fluidos en forma económica, ello es una indicación que la formación está dañada. Este hecho puede ser ocasionado por taponamiento de los canales de flujo. Para que una formación sea productiva se requieren tres (3) condiciones:

- 1) Que contenga fluido móvil.
- 2) Que el yacimiento tenga energía.
- 3) Que la roca tenga capacidad de flujo.

El propósito de una estimulación matricial es aumentar la permeabilidad de la formación productiva. Este método se aplica principalmente a yacimientos de carbonatos y areniscas. El primer paso en la planificación de un tratamiento con ácido es seleccionar la solución ácida correcta para la estimulación del pozo.

## 2.21. Tipos de Ácidos.

De los diferentes tipos de ácidos disponibles cinco han resultado económicamente efectivos en la industria petrolera. Ellos son: ácido clorhídrico, acético, fórmico, fluorhídrico y fluobórico.

### 2.21.1. Ácido Clorhídrico.

Este ácido es el más ampliamente utilizado en la estimulación de pozos. El gas seco-ácido clorhídrico no es corrosivo, sin embargo, la solución de este ácido si lo es.



---

Esta solución reacciona con la mayoría de los metales comunes y de sus compuestos. Entre estos se incluyen los carbonatos de calcio y magnesio que forman parte de la mayor proporción de las formaciones productivas de gas y de petróleo del mundo. Su nombre popular es “ácido muriático” y el cual es un líquido incoloro, que toma un tinte amarillento cuando se contamina con hierro o sustancias orgánicas se encuentran disponibles en concentraciones comunes de 28 % en peso de cloruro de hidrógeno en agua. Reacciona principalmente con carbonatos minerales, estos son los componentes principales de las rocas calcáreas: calizas y dolomitas donde su reacción es más lentamente en dolomitas que en calizas.

#### **2.21.2. Ácido Fluorhídrico.**

Es el único que permite la disolución de minerales arcillosos, feldespato y arena (cuarzo). Además de atacar estos compuestos de sílice, el ácido fluorhídrico también reacciona con los minerales calcáreos y con los iones positivos de la propia salmuera de la formación. Es el único ácido disponible para estimular formaciones que contienen arena y otros minerales sílicios, tales como las arcillas.

#### **2.21.3. Ácido Fluobórico.**

Ha sido desarrollado para estimular formaciones de areniscas con problemas de migración de arcillas y otros finos. Este sistema de ácido reacciona más lentamente que el ácido fluorhídrico, pero se consigue una mayor penetración en la formación antes de perder efectividad, se hidroliza lentamente en solución líquida.

Se sabe que tratamientos en areniscas con grandes volúmenes de ácidos convencionales HCl-HF producen una reducción apreciable de la resistencia a la compresión de la roca. Esto es debido a que el ácido se gasta rápidamente al entrar en la formación y destruye los materiales cementantes presentes. Dado que el ácido



---

fluobórico es retardado, tiene menos efectos dañinos para la integridad de la roca. Este tratamiento también estabiliza cualquier arcilla insoluble. En contrastes con los estabilizadores de arcillas convencionales, los cuales actúan por cambios iónicos o adsorción, el ácido fluobórico produce una fusión química de los finos y las laminas de arcilla. Este proceso de fusión ocurre como resultado de la reacción del ácido fluobórico con los minerales silicos. Los finos son físicamente cementados y por esta razón son menos afectados por el aumento del caudal de los fluidos de tratamiento. En la práctica, la reacción entre el ácido fluorhídrico y la arcilla es mucho más rápida, mientras que con la sílice es más lenta. <sup>[1]</sup>.

## **2.22. Registros Eléctricos.**

Son los procesos que consisten en adquirir y registrar información geológica proveniente de la profundidad de la tierra. Mientras se perfora un pozo de petróleo, se puede introducir una herramienta de registro dentro del pozo para obtener datos que luego serán introducidos para generar una especie de gráfico como registro. Existen muchos tipos de registros como: Registro del Potencial Espontáneo (Sp), Registro de Gamma Ray (Gr), Registro de Densidad, Registro Neutrón, Registro del lodo, Registro de Resistividad, Registro Sónico, entre otros. En este estudio se trabajó con el Registro Gamma Ray; en formaciones de lutita son fáciles de identificar con esta herramienta, son usadas muy comúnmente, y así observar la arena de interés.

Estas herramientas miden los rayos gamma naturales emitidos por las formaciones penetradas por el pozo. Los Rayos Gamma son generados por la desintegración de un isótopo de potasio con un peso atómico de 40 y por la desintegración de átomos comprendidos en la serie de elementos de: torio, potasio y uranio. Cantidades minúsculas de torio están presentes en los minerales arcillosos, y el potasio es un componente común de la lutita. Por convención, el registro de rayos gamma aparece en la columna del extremo izquierdo de un registro eléctrico. La





desviación hacia la derecha de la línea de rayos gamma indica una formación de lutita y la desviación hacia la izquierda indica una formación de arena o caliza. También existen los registros de lodos, estos representan una fuente inestimable de información para el ingeniero de lodo en el sitio, cuando este procura reconstruir la secuencia litológica de la formación que se está perforando.

Los reportes diarios de registro proporcionan un desglose (hasta porcentajes matriciales) de cada muestra tomada a una profundidad determinada. Estos registros de lodo pueden ayudar a anticipar una formación problemática conocida y evaluar la reactividad y estabilidad relativa de una formación en particular. <sup>[2]</sup>.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **Revisión Bibliográfica.**

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto fue necesario recolectar, analizar, leer y estudiar toda la información referente a las arcillas como sus tipos, técnicas para caracterización y propiedades, composición química y reactividad; material facilitado por:

- Cedita (centro de información técnica de PDVSA), ubicado en las instalaciones de la misma en el distrito Anaco.
- Por el asesor académico.
- En la biblioteca del Departamento de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui.
- Información obtenida de la página web.
- Información de campo.
- Revisión documental de material presente en la carpeta de los pozos.
- Información de los archivos Técnicos de la Nucleoteca de PDVSA ubicada en las instalaciones de El Chaure en la Ciudad de Puerto la Cruz.
- Departamento de Perforación y Producción de PDVSA GAS ANACO.

Adicionalmente a esto, se realizó una investigación exhaustiva acerca de todo lo relacionado a: núcleos, técnicas para preservación, las posibles pruebas que se le pueden practicar a los mismos, entre otras. Por último, se efectuó una revisión de toda la teoría referente a daño a la formación, las etapas durante la perforación en las cuales se puede presentar y los factores que favorecen su aparición en las formaciones de interés específicamente para el daño por interacción roca- fluido; ya que el presente estudio tiene como objetivo caracterizar los distintos tipos de arcillas presentes en las formaciones productoras más importantes del Campo el Roble para



---

prevenir este tipo de daño debido a incompatibilidad entre el fluido empleado durante las operaciones de campo y la roca.

### **3.1. Seleccionar los Yacimientos Productores del Campo el Roble de acuerdo a sus Reservas, Presión y Producción Acumulada.**

#### **■ RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LOS POZOS.**

Para el desarrollo de este objetivo se requería conocer reservas recuperables y desarrolladas de crudo, Gas y agua; presión original del yacimiento, de burbujeo, abandono y última presión; densidad del petróleo, grados API, entre otras; de los pozos existentes del área en estudio, la misma fue facilitada por el Departamento de Perforación y Producción PDVSA GAS ANACO.

La revisión de los datos de producción se hizo comparando la reserva remanente, producción acumulada de los yacimientos productores del campo en estudio. El procedimiento en detalle consistió en lo siguiente:

- Se calculó la reserva remanente de Líquido en BN y Gas en PCN a 151 yacimientos del Campo El Roble.
  - ◆ **Reservas Remanente de liq (BN)** = Reservas recuperable de liq (BN) – Reservas desarrolladas de liq (BN). **(Ver tabla 3.1).**



Nombre yacimiento	Reservas Recup Totales Liq.(BN)	Reservas desarrolla. (BN)	Reservas Remanente de liq (BN)
NAL1 RC 10	1267000	0	1267000
VEE3S RPN 42	328000	0	328000
VEE3I RPN 42	449000	0	449000
VEF2 RPN 45	347000	0	347000
VEG RPN 18	528000	0	528000
VEI RPN 50	468000	0	468000
AMC2 RPN 26	1628000	0	1628000
AMD2 RC 6	261000	0	261000
AME1 RC 4	672000	0	672000
AME2 RC 4	539000	0	539000
AME2 RC 23	335000	0	335000
AME2 RPN 42	831000	0	831000
AMH RPN 47	125000	0	125000
COLB3 RC 21	135000	0	135000
COC RPN 19	443000	0	443000
COE RPN 42	581000	0	581000
COG RPN 55	448000	0	448000
COG RPN 56	942000	0	942000
COH RPN 22	2610000	0	2610000
COI RPN 20	2988000	0	2988000
COK RPN 32	443000	0	443000
COK RC 23	946000	0	946000
COL RPN 60	201000	0	201000
COM2 RPN 38	501000	0	501000
COM4 RPN 26	1595000	0	1595000
CON1 RPN 50	2354000	0	2354000
CON2 RPN 11	2844000	0	2844000
COR1 RPN 27	6971000	0	6971000
COR2 RPN 27	4154000	0	4154000
COR2 RPN 55	1071000	0	1071000
MEA RPN 24	375000	93750	281250
MEA RPN 50	33000	0	33000
MEA RPN 55	247000	0	247000
MED RC 15	2402000	0	2402000
MEE RC 15	310000	77500	232500
MEE RC 22	137000	0	137000
ME,M2 RPN 66	754000	188500	565500
MEM2 RPN 66	2361000	0	2361000
MEQ RPN 58	109000	0	109000
MER RC 15	1192000	0	1192000

**Tabla 0.1. Calculo de la Reservas Remanente de liquido (BN), de los yacimientos del Campo el Roble.**

- ◆ **Reservas Remanente de gas (PCN)= Reservas recuperable de gas (PCN) – Reservas desarrolladas de gas (PCN). (Ver tabla 3.2).**



Nombre yacimiento	Reserva rec. gas sol. (MPC)	Reservas desa. gas (MPC)	Reservas Remanente de Gas
NAL1 RC 10	4271000	0	4271000
VEE3S RPN 42	1202000	0	1202000
VEE3I RPN 42	1646000	0	1646000
VEF2 RPN 45	681000	0	681000
VEG RPN 18	4484000	0	4484000
VEI RPN 50	918000	0	918000
AMC2 RPN 26	4970000	0	4970000
AMD2 RC 6	1696000	142	1695858
AME1 RC 4	2053000	0	2053000
AME2 RC 4	1646000	0	1646000
AME2 RC 23	1022000	0	1022000
AME2 RPN 42	2266000	1320574	945426
AMH RPN 47	382000	0	382000
COLB3 RC 21	1217000	0	1217000
COC RPN 19	696000	0	696000
COE RPN 42	912000	0	912000
COG RPN 55	703000	0	703000
COG RPN 56	1479000	0	1479000
COH RPN 22	4372000	3635669	733631
COI RPN 20	4692000	3988200	703800
COK RPN 32	696000	586480	109520
COK RC 23	10057000	8548450	1500550
COL RPN 60	315000	0	315000
COM2 RPN 38	786000	0	786000
COM4 RPN 26	2504000	0	2504000
CON1 RPN 50	3696000	3141600	554400
CON2 RPN 11	4465000	3191188	1273812
COR1 RPN 27	10946000	9304100	1648900
COR2 RPN 27	6522000	5543700	973900
COR2 RPN 55	1682000	0	1682000
MEA RPN 24	10307000	8760950	1546890
MEA RPN 50	905000	0	905000
MEA RPN 55	1940000	0	1940000
MED RC 15	21289000	18095650	3193350
MEE RC 15	7753000	6590050	1162950
MEE RC 22	3423000	0	3423000
ME,M2 RPN 66	65651000	55803350	9847650
MEM2 RPN 66	88059000	74790154	13268846
MEQ RPN 58	668000	0	668000
MER RC 15	7279000	6085278	1193722

Tabla 0.2. Calculo de la Reservas Remanente de Gas, de los yacimientos del Campo el Roble.



- Se pre-seleccionaron los yacimientos con una reserva remanente de líquido mayor a 100000 BN, fueron 39 yacimientos los pre-seleccionados de una muestra total de 151 yacimientos. **(Ver tabla 3.1).**
- Se extrajo de los archivos de producción los valores de producción acumulada de líquido (BN), agua (BN) y gas (PCN) de los yacimientos pre-seleccionados. **(Ver tabla 3.3).**

Nombre yacimiento	Producción acum. liq. (BN)	Prod. acum. agua (BN)	Producción acum. gas (MPC)
NAL1 RC 10	0	0	0
VEE3S RPN 42	0	0	0
VEE3I RPN 42	0	0	0
VEF2 RPN 45	0	0	0
VEG RPN 18	0	0	0
VEI RPN 50	0	0	0
AMC2 RPN 26	0	0	0
AMD2 RC 6	261283	5972	1695833
AME1 RC 4	0	0	0
AME2 RC 4	0	0	0
AME2 RC 23	0	0	0
AME2 RPN 42	241558	0	712384
AMH RPN 47	0	0	0
COLB3 RC 21	0	0	0
COC RPN 19	0	0	0
COE RPN 42	0	0	0
COG RPN 55	0	0	0
COG RPN 56	0	0	0
COH RPN 22	6128	0	94742
COI RPN 20	0	0	0
COK RPN 32	2426	0	6024
COK RC 23	0	0	0
COL RPN 60	0	0	0
COM2 RPN 38	0	0	0
COM4 RPN 26	0	0	0
CON1 RPN 50	0	0	0
CON2 RPN 11	142527	738	710661
COR1 RPN 27	0	0	0
COR2 RPN 27	0	0	0
COR2 RPN 55	0	0	0
MEA RPN 24	0	0	0
MEA RPN 50	0	0	0
MEA RPN 55	0	0	0
MED RC 15	0	0	0
MEE RC 15	0	0	0
MEE RC 22	0	0	0
ME,M2 RPN 66	0	0	0
MEM2 RPN 66	46931	7696	70584
MEQ RPN 58	0	0	0
MER RC 15	12316	1442	119849

**Tabla 0.3. Producción acumulada de líquido, agua y gas, de los yacimientos Pre-seleccionados del Campo el Roble.**

- De manera similar se extrajo los valores de presión original, de burbujeo, de abandono y final de los yacimientos pre-seleccionados. (Ver tabla 3.4).

Nombre yacimiento	Presión original (ppc)	Presión de burb. (ppc)	Presión de abandono (ppc)	Última presión (ppc)
IJAL1 RC 10	3850	3850	770	3850
VEE3S RPII 42	3021	3502	800	3021
VEE3I RPII 42	3034	3500	800	3034
VEF2 RPII 45	2737	2246	800	2737
VEG RPII 18	3600	3600	720	1800
VEI RPII 50	3436	2306	800	3436
AMC2 RPII 26	3466	3136	800	3466
AMD2 RC 6	4390	4390	878	4390
AME1 RC 4	3459	3135	800	3459
AME2 RC 4	3425	3131	800	3425
AME2 RC 23	3404	3129	800	3404
AME2 RPII 42	4500	4500	900	4500
AMH RPII 47	3754	3171	800	3754
COLB3 RC 21	5250	5250	1050	5250
COC RPII 19	3920	2010	800	3920
COE RPII 42	3726	2000	800	3726
COG RPII 55	3554	1983	800	3554
COG RPII 56	3606	1991	800	3606
COH RPII 22	3730	2628	800	3730
COI RPII 20	3941	2016	800	3941
COK RPII 32	3464	2179	800	3464
COK RC 23	4220	4220	840	4220
COL RPII 60	3683	1997	800	3683
COM2 RPII 38	3875	2011	800	3875
COM4 RPII 26	4305	1984	800	4305
COI1 RPII 50	4311	2045	800	4311
COI2 RPII 11	4410	4410	880	4410
COR1 RPII 27	4610	2053	800	4610
COR2 RPII 27	4425	2054	800	4425
COR2 RPII 55	3801	2018	800	3801
MEA RPII 24	4188	9575	800	4188
MEA RPII 50	4584	10495	800	4584
MEA RPII 55	4130	6180	800	4130
MED RC 15	4199	6327	800	4199
MEE RC 15	4203	9610	800	4203
MEE RC 22	4350	9950	800	4350
ME,M2 RPII 66	4436	10150	800	4436
MEM2 RPII 66	5000	5000	1000	5000
MEQ RPII 58	4513	4951	800	4513
MER RC 15	5340	5000	588	4629

**Tabla 0.4. Presión original, de burbujeo, abandono y última presión de los yacimientos Pre-seleccionados del Campo el Roble.**



Una vez pre-seleccionados los yacimientos del mencionado campo, se procede a una segunda pre-selección de los mismos de acuerdo a la reserva desarrollada y producción acumulada de líquido (BN) y gas (PCN) (Ver tabla 3.5, 3.6 y 3.7); obteniéndose diez yacimientos (Ver tabla 3.8), De acuerdo al criterio de selección de reserva, presión y producción acumulada siete fueron los yacimientos productores seleccionados (AMD 2 RC, AME 2 RPN 42, COH RPN 22, COK RPN 32, CON 2 RPN 11, MEM 2 RPN 66, MER C 15) (Ver tabla 3.10).

Nombre yacimiento	Reservas Recup Totales Liq.	Reservas desarrolla. (BN)	Reservas Remanente de liq (BN)
MEA RPN 24	375000	93750	281250
MEE RC 15	310000	77500	232500
ME,M2 RPN 66	754000	188500	565500

**Tabla 0.5. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con reservas desarrollas de líquido.**

Nombre yacimiento	Reserva rec. gas sol. (MPC)	Reservas desa. gas (MPC)	Reservas Remanente de Gas
AMD2 RC 6	1696000	142	1695858
AME2 RPN 42	2266000	1320574	945426
COH RPN 22	4372000	3635669	736331
COI RPN 20	4692000	3988200	703800
COK RPN 32	696000	586480	109520
COK RC 23	10057000	8548450	1508550
CON1 RPN 50	3696000	3141600	554400
CON2 RPN 11	4465000	3191188	1273812
COR1 RPN 27	10946000	9304100	1641900
COR2 RPN 27	6522000	5543700	978300
MEA RPN 24	10307000	8760950	1546050
MED RC 15	21289000	18095650	3193350
MEE RC 15	7753000	6590050	1162950
ME,M2 RPN 66	65651000	55803350	9847650
MEM2 RPN 66	88059000	74790154	13268846
MER RC 15	7279000	6085278	1193722

**Tabla 0.6. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con reservas desarrollas de Gas**





Nombre yacimiento	Producción acum. liq. (BN)	Prod. acum. agua (BN)	Producción acum. gas (MPC)
AMD2 RC 6	261283	5972	1695833
AME2 RPN 42	241558	0	712384
COH RPN 22	6128	0	94742
COK RPN 32	2426	0	6024
CON2 RPN 11	142527	738	710661
MEM2 RPN 66	46931	7696	70584
MER RC 15	12316	1442	119849

**Tabla 0.7. Pre-selección de los yacimientos productores del campo el Roble con producciones acumuladas de líquido y Gas.**

Nombre yacimiento	Reservas Remanente de liq (BN)	Reservas Remanente de Gas	Producción acum. liq. (BN)	Producción acum. gas (MPC)	P(Lppc)
AMD2 RC 6	261000	1695858	261283	1695833	4390
AME2 RPN 42	831000	945426	241558	712384	4500
COH RPN 22	2610000	736331	6128	94742	3730
COK RPN 32	443000	109520	2426	6024	3464
CON2 RPN 11	2844000	1273812	142527	710661	4410
MEM2 RPN 66	236100	13268846	46931	70584	5000
MER RC 15	1192000	1193722	12316	119849	4629
MEA RPN 24	281250	15460580	0	0	4188



MEE RC 15	232500	1162950	0	0	4203
ME,M2 RPN 66	565500	9847650	0	0	4436

**Tabla 0.8. Yacimientos pre-seleccionados del campo el Roble.**

<b>YACIMIENTO PRODUCTORES</b>
AMD 2 RC 2
AME 2 RPN 42
COH RPN 22
COK RPN 32
CON 2 RPN 11
MEM 2 RPN 66
MER C 15

**Tabla 3.9. Yacimientos productores del campo el Roble seleccionados de acuerdo a sus reservas, presión y producción acumulada.**

### **3.2. Aplicar la Prueba de Difracción de Rayos X a los Núcleos de las Arenas Productoras Seleccionadas Pertenecientes a las Zonas Productoras del Campo El Roble.**

Los pozos (RPN-6), (RPN-42), (RPN-22), (RPN-32), (RC-21, RPN-26, RPN-11, RPN-25, RPN-27), (RPN-53, RPN-58, RPN-67, RPN-66), (RC-15, RPN-71); atraviesan los yacimientos productores seleccionados bajo el criterio de reserva, presión y producción acumulada del campo en estudio AMD 2 RC, AME 2 RPN 42,



COH RPN 22, COK RPN 32, CON 2 RPN 11, MEM 2 RPN 66, MER C 15; respectivamente, cabe destacar que en las carpetas de producción y perforación de PDVSA GAS ANACO solo se encontró información de los pozos RPN-6 y RPN-11, por lo que se requirió buscar información de otros pozos.

Se solicito al personal competente de la Nucleoteca de PDVSA un inventario de las muestras de núcleos disponibles del Campo el Roble anexo a esto el intervalo de interés de cada pozo. Inicialmente el estudio estuvo conformado por 30 pozos. **Ver (Tabla 3.10)**

POZO	INTERVALO
RPN-1	113'-9557'
RPN-15	200'-11806'
RPN-24	10298'-10948'
El salto-2	2104'-5246'
RPN-11	1020-10072'
RPN-3	6960'-10197'
RPN-4	3650'-10004'
RPN-5	3765'-10700'
RPN-6	3675'-9735'
RPN-7	6680'-8661'
RPN-8	8681'-10068'
RPN-9	8220'-9929'
RPN-10	8128'-8185'



RPN-12	3850'-10690'
RPN-13	4756'-5688'

POZO	INTERVALO
RPN-14	4730'-6375'
RPN-18	5375'-8585'
RPN-19	7400'-10575'
RPN-20	8080'-9990'
RPN-27	10741'-12340'
RPN-16	1470'-6037'
RPN-55s	2680'-11755'
El Roble-1	9216'-9569'
El Roble-2	6505'-7925'
RPN-73	4131'-10950'
Santa-1	40'-11400'
RPN-55s	2680'-11755'
RPN-51s	6350'-12020'
RPN-47s	215'-6350'
RPN-73	4131'-10450'

**Tabla 0-10. Inventario de Núcleos Disponibles del Campo El Roble.**

De esta población total de 30 pozos solo se pre-seleccionaron once debido a que en las carpetas de los pozos del Departamento de Perforación y Producción de PDVSA GAS ANACO el diagrama de completación y la información requerida de



los otros pozos no estaba disponible. Los pozos pre-seleccionados fueron: RPN-1, RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-7, RPN-11, RPN-14, RPN-20, RPN-51, RPN-55S y RPN-73. Posteriormente con la información arrojada de los diagramas de completacion, se elaboro una tabla en la que se represento los yacimientos que atraviesan cada pozo a evaluar según el intervalo de interés, obteniéndose con una frecuencia mayor ó igual a cuatro que las arenas a estudiar son las colorados específicamente las CO-A, CO-E, CO-K. **Ver (Tabla 3.11).**

De los once pozos pre-seleccionados se verifico en los diagramas de completacion que al intervalo de interés se encontraran las arenas en estudio (CO-A, CO-E, CO-K), solo en cinco de estos pozos a la profundidad de interés se encontró las arenas en estudio, estos pozos fueron: RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11 y RPN-55S. Los pozos a los cuales no se les encontró muestras representativas de las arenas en estudio a la profundidad de interés fueron seis: RPN-51, RPN-14, RPN-73, RPN-01, RPN-07 y RPN-20. Es decir que estos núcleos no se utilizaron debido a que no contenían en su intervalo de muestreo secciones que pertenecían a las arenas productoras de interés, ejemplo de ello el diagrama del pozo RPN- 14. **(Ver diagrama de completacion 3.6).**

POZCS	C-04	PN-11	PN-55	PN-51	PN-14	PN-6	PN-73	PN-01	PN-03	PN-07	PN-20	Frecuencia
ARENA												
MOC												1:1
MOD												1:1
AM C1												1:2
AME												1:3
COA												1:4

COD												1:3
COE												1:4
COF2												1:1
COF3												1:1
COG												1:3
COK												1:6
COM1												1:2
CON1												1:2
AMC												1:3
COL												1:2
CON												1:2
MEGH												1:1
MEN												1:1
MET3												1:2
SJB												1:2
TEMBA												1:2
ME1												1:1
MEP												1:1
MET4,5												1:2
SJA												1:2
NAF3												1:1
NAK3												1:1
ANL												1:1
BLU												1:1
AMD												1:3
AMH												1:1
AMK												1:1
COB												1:2
COF												1:3
MEH												1:1
MEJ1L												1:1
COR												1:1
AMF												1:1
COC												1:1
COH												1:1
COM												1:1

**Tabla 3.11. Selección de las arenas en estudio de acuerdo a la frecuencia de los pozos en estudio.**

En la Tabla 3.12, se muestran los pozos seleccionados, tipo de muestra, arena en estudio, profundidad y cantidad de cajas representativa de la arena en estudio a la profundidad de interés. De los cinco pozos seleccionados se muestrearon dichos núcleos en el cual se tomaron 30 muestras de la población pertenecientes a la Formación Oficina, específicamente las arenas del miembro Colorado CO-A, CO-E y CO-K.

POZO	TIPO DE MUESTRA	ARENA EN ESTUDIO	PROFUNDIDAD, TOPE-BASE	CANT/CAJAS
	Núcleo	CO-A	8695 - 8720	2
	Núcleo	CO-E	8937 - 8960	2
RPN-3	Núcleo	CO-A	8645 - 8685	



	Núcleo	CO-K	9453 - 9460	2
	Núcleo	CO-K	9475 - 9490	
	Núcleo	CO-K	9510 - 9530	
RPN-4	Núcleo	CO-A	8780-8790	
	Núcleo	CO-A	9826 - 9847	2
	Núcleo	CO-E	9117- 9137	2
	Núcleo	CO-K	9630 - 9677	2
RPN -6	Núcleo	CO-A	8584 – 8608	
	Núcleo	CO-A	8609 - 8617	2
	Núcleo	CO-A	8622 - 8642	
	Núcleo	CO-E	8887 - 8907	2
	Núcleo	CO-K	9377 - 9457	5
RPN-11	Núcleo	CO-K	9668-9751	10
RPN-55S(HUMEDA)	Núcleo	CO-K	8976 - 9016	6

**Tabla 0.11. Pozos seleccionados con sus respectivas arenas en estudio, profundidad de interés y cantidad de cajas de muestras representativas de esas arenas.**

Esta etapa estuvo dirigido a caracterizar las arcillas cementantes de las arenas productoras del Campo el Roble del Distrito de Producción Gas Anaco, como lo son las arenas CO-A, CO-E y CO-K; pertenecientes a las formación Colorado de Área Mayor de Anaco. Cabe señalar que el estudio se apoyo en una investigación de campo, la cual consistió en la recolección de una serie de muestras de roca extraídas de núcleos, los cuales fueron tomados en intervalos que abarcan dentro de su rango



---

las formaciones de interés para su posterior análisis con el equipo de Difracción de Rayos X.

El proceso de toma de muestras en las instalaciones de la Nucleoteca requirió de gran precisión a la hora de realizar la selección. Primeramente, fue necesario organizar el despliegue de los núcleos en la mesa de despliegue de dicha instalación para ello se le solicitó al personal de la misma un inventario de los núcleos disponibles para este campo, estos núcleos están organizados por intervalos, en cajas de tres pies de largo por medio pie de ancho por medio pie de espesor y cada una cuenta con dos bandejas, una superior para localización de muestras y otra inferior para la toma de cualquier tipo de muestras, la lista proporcionada por la Nucleoteca incluía el intervalo completo disponible del núcleo pero obviaba secciones que carecían de muestras por lo cual se hizo un tanto difícil tomar la muestra al momento de hacerlo, en algunos casos las secciones prospectivas no se encontraban disponibles ya que habían sido utilizadas por el personal de Geomecánica para llevar a cabo análisis de dichas secciones.

El procedimiento de muestreo en si fue muy sencillo una vez que se tenían desplegado los núcleos en la mesa de despliegue. Lo primero que se hizo fue localizar el intervalo de interés en las cajas, cada una de ellas se encontró perfectamente identificada con el intervalo contenido en ella, el número del núcleo, el nombre del pozo y el número de la caja. Por otra parte, para trabajar con los 3' de núcleo de una caja se emplea una regla que tiene una escala en pies la cual mide aproximadamente 2.5 pies de largo, esta sirve para identificar la profundidad dentro de la caja seleccionada.

Una vez finalizada la comprobación de la profundidad del núcleo en el intervalo seleccionado, empleando una piqueta de geólogo se procedió a levantar la bandeja





---

superior y tomar la muestra de la parte inferior la cual como se dijo es la parte destinada para el muestreo, una vez tomada la muestra se colocó la misma en bolsas plásticas debidamente identificadas con la profundidad de toma de muestra y el pozo al cual corresponde dicho núcleo. De esta manera se procedió con las treinta muestras tomadas. La selección de las muestras se basó en observar: colores, texturas, granos y profundidades distintas. Cabe destacar que las muestras representativas del pozo RPN-55s, muestras húmedas se encontraban almacenadas en bolsas plásticas perfectamente identificadas con el intervalo contenido en ella, el número del núcleo, el nombre del pozo y el número de la caja.

Una vez colocadas las muestras en bolsas y debidamente identificadas con el nombre del pozo y la profundidad a la cual fue tomada; las mismas fueron llevadas al laboratorio de lavado de muestras donde fueron pulverizadas primero en un mortero para llevarlas a un tamaño adecuado, luego colocarlas en un pulverizador donde quedaron tamaño tipo talco y seguidamente pasada por un tamiz. Una parte de la muestra tipo talco es colocada en un porta muestra para realizarle el análisis de difracción de roca total y la otra parte es colocada en un envase de vidrio y se aplica una serie de procedimientos desde agregar acetato de sodio hasta filtrarla donde la muestra filtrada es colocada en un vidrio pequeño debidamente identificado para realizarle el análisis de difracción para arcilla, en este caso no fue necesario realizar el paso anterior ya que de la roca total se procedió a obtener los minerales de arcillas presente en las arenas productoras de interés. Las muestras húmedas una vez seleccionadas no requieren ser pasadas por el mortero ya que su tamaño es el requerido para ser pulverizadas. Los núcleos representativos de estas muestras fueron sometidos al calor de un horno por dos minutos a una temperatura estándar, pasaron de ser muestras húmedas a ser muestras secas. Posteriormente a esto fueron pulverizadas.

El procedimiento para el análisis de las muestras empleando el equipo de difracción de rayos X es un tanto complejo, el procedimiento fue aplicado a las



---

muestras por personal autorizado del Laboratorio Geológico ya que los equipos son en extremo costoso y delicado aparte de que se necesita un adiestramiento para su uso y para el análisis de los resultados. Como se mencionó anteriormente con este procedimiento es posible conocer el porcentaje de cada tipo de arcilla presente en una muestra de roca.

El laboratorio Geológico del Chaure cuenta con dos equipos de difracción el **Difractometro X-Ray- Generator -Philips**, el cual consta de 3 partes fundamentales que son la unidad de enfriamiento, el generador de rayos X (PW 1729) y la unidad donde se aplica la prueba de difracción y el **Difractometro X- Pert- Pro**, este segundo equipo fue el empleado para realizar las pruebas de Difracción, es actualizado de mayor velocidad y precisión en el análisis de las muestras, está constituido por tres portas muestras, cada porta muestra tiene quince renglones; es decir que en cada porta muestra se pueden colocar quince muestras para el análisis, emplea un ángulo de barrido de 5° a 35°, dependiendo de la separación de las arcillas. Si las arcillas ya están separadas se programa la difracción para ángulos menores.

Todas las muestras a ser objeto del análisis contaron con una geometría uniforme de tal modo que los Rayos X entraron y salieran con el mismo ángulo de barrido. El análisis mineralógico de muestra por difracción de rayos X realizado constó de dos tipos de análisis:

- Mineralogía total de la muestra (roca total).
- Mineralogía de arcillas (fracción <2 micras).

El análisis por difracción de rayos X en mineralogía total (roca total) se realizó con la finalidad de obtener la identificación y cuantificación (% en peso, semi-cuantitativo de los minerales presentes en la muestra.



---

El análisis por difracción de rayos X de la fracción menor a 2 micras consistió en la identificación y cuantificación (% en peso, semi-cuantitativo) de los minerales de arcilla presente en la muestra.

Las muestras en referencia fueron analizadas en roca total, para identificar y cuantificar las concentraciones de minerales expresadas en % en peso presentes en la totalidad de la muestra. En este análisis, por la manera de preparar las muestras, los minerales de arcillas en general no se pueden diferenciar, los valores reportados representan solo su contenido global de la roca.

Es por ello que se realizó un segundo análisis en el que se determinó la fracción arcilla menor de 2 micras exclusivamente para los tipos de minerales de arcillas presentes en las muestras.

La fracción de arcilla se obtuvo por medio de un programa **X-PERT-HIGH-SCORE-PLUS**, es un programa computarizado, que se basa en identificar y cuantificar los minerales de arcillas de una muestra a partir de las concentraciones de minerales de roca total. Como se mencionó anteriormente el procedimiento para el análisis de las muestras empleando el equipo de difracción de rayos X es un tanto complejo, el procedimiento fue aplicado a las muestras por personal autorizado del Laboratorio Geológico ya que los equipos son en extremo costoso y delicado aparte de que se necesita un adiestramiento para su uso y para el análisis de los resultados.

### **3.3. Calcular el Daño a la Formación a través del PIPESIM.**

Durante la etapa de este objetivo se procuraba determinar la existencia de la alteración de permeabilidad en las cercanías de los pozos RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11, RPN-55S del campo el Roble empleando el **SIMULADOR PIPESIM 2003**.



---

El Pipesim 2003, es un simulador para la Optimización de Sistemas de Producción (pozos y redes) que pertenece a la empresa “SCHLUMBERGER”. Este paquete incluye 3 módulos: PIPESIM (para optimar pozos), PIPESIM NET (para optimar redes) y PIPESIM GOAL (para optimar sistemas de levantamiento artificial por gas). “PIPESIM” es un paquete computacional mediante el cual se logra simular los procesos de producción, tomando en cuenta todas las variantes que forman el sistema de producción desde el yacimiento hasta la superficie; se interpretó los sumarios de pozos, mediante la cual no se obtuvo los datos requeridos para realizar el modelaje de producción a través del análisis nodal. <sup>[2]</sup>.

El Pipesim Permite modelar el comportamiento del pozo (yacimiento-pozo-línea de flujo), siendo posible realizar rápidas comparaciones de diferentes escenarios, a partir de los datos de tasa producción, % Ay S, permeabilidad, RGP, etc. Siendo posible caracterizar el fluido producido por el yacimiento (tipo de fluido, °API, propiedades PVT, etc.). Del mismo modo es posible incorporar detalles de la tubería de producción así como la línea de flujo. Este programa incorpora a su vez, dos módulos donde se puede modelar el comportamiento del pozo bajo levantamiento artificial por gas u operando bajo bombeo electro-sumergible. Además permite:

- ❖ Modelaje de la curva de comportamiento de afluencia y completación.
- ❖ Información de análisis presión-volumen-temperatura (ajusta las propiedades PVT, calculadas a través de correlaciones).
- ❖ Cálculo de temperatura.
- ❖ Correlaciones para modelar el flujo crítico y subcrítico en reductores, incluyendo modelos mecánicos.
- ❖ Ajustes de los resultados obtenidos mediante correlaciones de flujo, basándose en los datos medidos, como por ejemplo medidas de presiones dinámicas en el pozo.



---

Para determinar el daño a las formaciones productoras en estudio, inicialmente se requería saber si los pozos estaban produciendo en esas arenas, la información obtenida por el personal de perforación y producción de PDVSA Gas Anaco; fue que el pozo **RPN-3**, es un pozo productor de gas condensado, lleva cuatro completaciones y se encuentra cerrado desde el 30/04 del presente año. El pozo **RPN-4**, se encuentra produciendo por tubería en la formación moreno exactamente moreno D (MO-D). El pozo **RPN-6**, no tiene producción en las colorados solo en las amarillo, lleva una completación sencilla y actualmente se encuentra cerrado por presentar una alta RGP. **El pozo RPN-11**; presenta 5 completaciones, actualmente se encuentra cerrado, ya que requiere de una reparación mayor del subsuelo. El pozo **RPN-55S**, se encuentra abandonado.

Actualmente en este campo no se encuentran pozos produciendo en las arenas colorados específicamente las (CO-A, CO-E y COK); cabe destacar que las arenas colorados son arenas compactas que para ser producidas requieren ser fracturadas con el objetivo de crear canales por donde el fluido pueda circular.

#### **3.4. Realizar Mapas de Tendencia para cada Arena Productoras de la Zona Correspondiente al Campo Mencionado en donde se Muestra la Distribución de los Distintos Tipos de Arcillas.**

Para la realización de este objetivo fue necesario utilizar Oil Field Manager (OFM) es una aplicación que desarrolla un eficiente método para visualizar, relacionar y analizar datos de producción y de yacimiento. OFM facilita todas las capacidades esperadas de un visualizador de datos de primera línea. Como un sistema integrado, esta aplicación provee un poderoso conjunto de herramientas para automatizar tareas, compartir datos y relacionar la información necesaria.



---

Es posible utilizar OFM para análisis de pozos y campos, programas y operaciones de optimización del campo, administración de reservas, planes de desarrollo, programas de mantenimiento y administración del flujo de caja. OFM permite trabajar con una amplia variedad de tipos de datos para identificar tendencias, identificar anomalías y pronosticar producción.

Para la utilización de esta información también trabaja con un grupo de tablas que contienen los datos correspondientes. Dentro de las tablas más importantes de dicho programa se encuentran:

- ❖ La tabla maestra de tipo estático y que contiene toda la información básica de los pozos incluyendo sus coordenadas.
- ❖ La tabla de sort de tipo estático que contiene la información que permitirá seleccionar y agrupar información por diferentes categorías.
- ❖ La tabla de producción de tipo mensual que contiene la información de producción de tipo mensual de los pozos.
- ❖ La tabla de pruebas y muestras de tipo esporádico con información de los resultados de las pruebas y muestras realizadas a cada pozo. <sup>[2]</sup>.

Tomando en cuenta información de los registros de resistividad y rayos gamma correspondientes a los pozos RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11, RPN-55S; se pudo hacer una discriminación de los datos disponibles, con la finalidad de seleccionar los correspondientes a las mejores zonas de la arena, todo esto con el objeto de emplear el programa OFM 2005 (Oil Fiel Manager) para así generar unos mapas de tendencias que pudiesen dar una idea de cómo podrían las arcillas autigenicas repartirse a lo largo de dichas arenas. Se generaron 17 tendencias tanto para los minerales de roca total como minerales de arcillas.



---

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### **4.1. Seleccionar los yacimientos productores del Campo el Roble de acuerdo a sus reservas, presión y producción acumulada.**

Los yacimientos productores seleccionados bajo el criterio de reserva, presión y producción acumulada del campo en estudio son: AMD 2 RC, AME 2 RPN 42, COH RPN 22, COK RPN 32, CON 2 RPN 11, MEM 2 RPN 66, MER C 15 los cuales atraviesan los pozos (RPN-6), (RPN-42), (RPN-22), (RPN-32), (RC-21, RPN-26, RPN-11, RPN-25, RPN-27), (RPN-53, RPN-58, RPN-67, RPN-66), (RC-15, RPN-71); respectivamente.

#### **4.2. Aplicación de la prueba de Difracción de Rayos X a los núcleos de las arenas productoras seleccionadas pertenecientes a las zonas productoras del Campo El Roble.**

Las arenas productoras seleccionada para aplicarle la prueba de Difracción de Rayos X, son las colorados exactamente colorado A, colorado E y colorado K.

En esta etapa existen dos grupos de resultados que reportar, en primer lugar se encuentran los resultados correspondientes a la sección de roca total y por otro lado se encuentran los resultados correspondientes a las proporciones relativas de minerales de arcilla en la fracción menor a dos micras.

Como se explicó anteriormente el análisis por difracción de rayos X en mineralogía total (roca total) se realiza con la finalidad de obtener la identificación y cuantificación (% en peso, semi-cuantitativo) de los minerales presente en la muestra. El análisis por difracción de rayos X de la fracción menor a 2 micras consiste en la identificación y cuantificación (% en peso, semi-cuantitativo) de los minerales de arcilla presente en la muestra.



En general los resultados fueron muy variados como se verá a continuación. Lo primero que se debe notar es que cada arena en el estudio presenta un conjunto de características mineralógicas muy distintas lo cual no se venía tomando en cuenta en las operaciones de campo y ni siquiera durante el proceso de perforación y estimulación.

Otra observación que se pudo notar a grandes rasgos en lo correspondiente a los minerales de arcilla menor a dos micras es que existen unos altos porcentajes de Caolinita e ilita en las arenas de estudios.

El pozo RPN- 6 y RPN-11, aparte de presentar caolinita e ilita se encontró clorita como minerales de arcillas en su composición, pero ciertamente lo delicado es que la clorita genera problemas durante las estimulaciones con ácido clorhídrico debido a su alto contenido de hierro y la caolinita tiende a migrar principalmente por problemas de pH, debido a que las misma presenta un pH de punto de carga cero que va de 3.5 a 4.6 y cuando a la formación ingresa un fluido con un pH mayor de este se produce el desprendimiento de la partícula y luego se genera la migración lo que termina en taponamiento de las gargantas porales y por ende una disminución de la permeabilidad en la región cercana al pozo donde la velocidad de flujo es máxima.

#### ■ RESULTADOS DE LA MINERALOGÍA DE ROCA TOTAL.

En lo que se refiere a la composición mineralógica de las arenas productoras estudiadas (CO-A, CO-E, CO-K) del Campo El Roble, los resultados generados presentan bastante variación al respecto, cada una de las arenas presentan unas características mineralógicas muy diversas, y como se menciona anteriormente esto no había sido percatado en las operaciones de campo y ni siquiera durante el proceso como tal de perforación. Como puede observar en la **Tabla 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5**; Los resultados de minerales de roca total representados en valores semi-cuantitativos (% peso), no se presentaron valores de: Ankerita, Hematita, y Fluorapatito.

Una de las características comunes para todas las arenas en estudio es que casi todas son sucias o moderadamente sucias, se visualizan claramente con los porcentajes de cuarzo para las distintas muestras, el personal del Laboratorio Geológico consideran una muestra



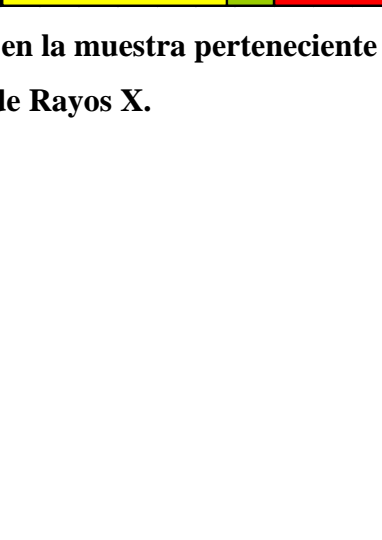



limpia aquella que tiene un porcentaje de cuarzo mayor a 85 % lo cual ocurrió en 1 sola muestra de las analizadas.

Es fácil observar que las muestras presentan altos porcentajes de cuarzo y de arcilla en su mayoría, son pocas las muestras que presentan porcentajes significativos de otros minerales, en las arenas productoras del Campo El Roble. Esto sin embargo, no es de sorprender; ya que el cuarzo (SiO<sub>2</sub>), es un componente esencial de las arenas a parte de ser uno de los minerales más abundantes sobre el planeta.

### ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS- X (SEMICUANTITATIVO)

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-3 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

EDAD	FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL (% PESO)												
			CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	SIDERITA	YESO	HEMATITA	PIRITA	FLUORAPATITO	MIN. ARCILLA	%
			10	20	30	40	50	60	70	80	90				
M I O C E N O	O F I C I N A	8695'	78		13									9	
		8947'4"	83			5	7							6	
		8957'7"	35		2	8								55	
		8960'	40		2				4					54	
		9453'	61		5	25								9	
		9480'6"	58		12									30	

**Tabla 4.1. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 3, por Difractometría de Rayos X.**

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-4 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

EDAD	FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL (% PESO)												
			CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	SIDERITA	YESO	HEMATITA	PIRITA	FLUORAPATITO	MIN. ARCILLA	%
			10	20	30	40	50	60	70	80	90				
M I O C E N N O	O F I C I N A	8860'	51										49		
		9136'6"	55	3									42		
		9632'4"	62	1				5					32		
		9632'8"	16					12					72		
		9650'	47		2				4				47		
		9675'	41	1	2			1						55	

**Tabla 4.2. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 4, por Difractometría de Rayos X.**

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-6 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

EDAD	FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL (% PESO)												
			CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	SIDERITA	YESO	HEMATITA	PIRITA	FLUORAPATITO	MIN. ARCILLA	%
			10	20	30	40	50	60	70	80	90				
M I O C E N O	O F I C I N A	8609'4"	75	2									23		
		8889'8"	34	1	1			6					58		
		8906'	40	2									58		
		9391'6"	50	10									40		
		9411'8"	49	9									42		
		9430'9"	61	2	2								35		
		9431'4"	64	1									35		

**Tabla 4.3. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 6, por Difractometría de Rayos X.**

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-11 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

EDAD	FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL (% PESO)												
			CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	SIDERITA	YESO	HEMATITA	PIRITA	FLUORAPATITO	MIN. ARCILLA	%
MIOCENO	OFICINA	9668'	71	9										20	
		9708'11"	45	7					5					43	
		9712'2"	47	2										50	
		9719'4"	90	3										7	
		9727'5"	68	12										20	
		9748'11"	80	7										13	
		9751'	63	19	3								15		

**Tabla 4.4. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 11, por Difractometría de Rayos X.**

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-55S AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

Edad	FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL (% PESO)												
			CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	SIDERITA	YESO	HEMATITA	PIRITA	FLUORAPATITO	MIN. ARCILLA	%
MIOCENO	OFICINA	8976'	36	4					5			1		54	
		8988'	44	4					2			3		47	
		9002'	37											63	
		9012'	25	1	3				5					66	

**Tabla 4.5. Los resultados de minerales de Roca Total en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 55S, por Difractometría de Rayos X.**

**■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ROCA TOTAL PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-3.**

La muestra de la arena CO-A que se encuentra a una profundidad de 8695' se obtuvo: 78 % de cuarzo, 13 % de feldespato plagioclasa, 9 % de minerales de arcillas, la arena se considera sucia por el % de cuarzo menor al 85 %. Todos estos valores son de mucha importancia tanto a la hora de perforar, al saber que fluido adicionar a la formación y no caer en peores consecuencias, como también para otras operaciones de campo.



---

A la profundidad de 8947'4'' la muestra se encuentra en la arena CO-E y los resultados obtenidos fueron: 83 % de cuarzo, 5 % calcita, 7 % de dolomita, 6 % de minerales de arcillas. por lo que se puede decir que la arena está casi limpia porque el porcentaje de cuarzo está llegando al 85 % y posee poco porcentaje de minerales de arcillas, pero no se descarta que la arena esté totalmente limpia, por los demás porcentajes.

Del mismo pozo y la misma arena CO-E pero a una profundidad de 8957'7'' se encontró un: 35 % de cuarzo, 2 % de feldespato plagioclasa, 8% de calcita y 55 % de minerales de arcillas, por lo que se puede decir que la arena está sucia, el porcentaje de cuarzo es mucho menor al 85 % y posee un alto porcentaje de minerales de arcillas. El personal del Laboratorio Geológico considera una muestra sucia aquella que tiene un porcentaje de cuarzo menor a 85 %.

La muestra ubicada en la arena CO-E a la profundidad de 8960', se registró un: 40 % de cuarzo, 2 % de feldespato plagioclasa, 7 % de siderita y 54 % de minerales de arcillas; donde esta arena se considera sucia por la cantidad de mineral arcilloso; ya que sobrepasa el 35 % y además porque el porcentaje de cuarzo es menor del 85 %, siendo el valor límite teórico para considerar una arena limpia.

Se presentan los resultados obtenidos en la arena CO-K a una profundidad de 9453' se registró: 61 % de cuarzo, 5 % de feldespato Plagioclasa, 25 % de calcita y 9 % de minerales de arcillas. Se debe tener cuidado con el alto porcentaje de calcita presente debido a que ésta genera precipitados de fluoruro de calcio, se debe evitar contacto con ácido fluorhídrico (HF) y en este caso se deben usar fluidos ácidos pero sin flúor (F) y para minimizar cualquier problema se usaría ácido clorhídrico (HCl).

En la arena CO-K a una profundidad de 9480'6'' se generó: 58 % de cuarzo, 12 % de feldespato Plagioclasa y 30 % de minerales de arcilla; la arenase considera sucia, ya que el porcentaje de cuarzo es menor a 85 %.



---

---

## ■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ROCA TOTAL PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-4.

En la arena productora CO-A del pozo RPN-04, a la profundidad de 8860' contiene un: 51 % de cuarzo, y 49 % de minerales de arcillas, considerándose una arena sucia, por lo que el porcentaje de cuarzo es menor a 85%.

A la profundidad de 9.136'6'' de la arena CO-E se registró un: 55 % de cuarzo, 3 % de feldespato plagioclasa, y 42 % de minerales de arcilla, por lo que este último es un valor muy elevado, dando indicios de posibles desestabilización de la formación, trayendo como consecuencia obstrucción al flujo y además de que la arena es considerada sucia tanto por el cuarzo como por las arcillas, entre otros.

La muestra ubicada en la arena CO-K a la profundidad de 9632'4'', se registró un: 62 % de cuarzo, 1 % de feldespato plagioclasa, 5 % de siderita y 32 % de minerales de arcillas; donde esta arena se considera sucia por la cantidad de mineral arcilloso y además porque el porcentaje de cuarzo es menor del 85 %, siendo el valor límite teórico para considerar una arena limpia.

A la profundidad de 9.632'8'' de la arena CO-K se registró un: 16 % de cuarzo, 12 % de siderita y 72 % de minerales de arcillas; donde esta arena se considera sucia por el bajo porcentaje de cuarzo y por el alto porcentaje de minerales arcillosos, lo que significa que se corre un riesgo de desestabilización en las cercanías del pozo, trayendo como consecuencia obstrucción al flujo, a demás que la arena es considerada sucia tanto por el porcentaje de cuarzo, como por el de arcilla.

La muestra ubicada en la arena CO-K a la profundidad de 9650', se registró un: 47 % de cuarzo, 2 % de calcita, 4% de yeso y 47 % de minerales de arcillas; donde esta arena se considera sucia por la cantidad de mineral arcilloso; ya que sobrepasa el 10 % y además porque el porcentaje de cuarzo es menor del 85 %, siendo el valor límite teórico para considerar una arena limpia.



---

Los resultados obtenidos en la arena CO-K a una profundidad de 9675' se registró: 41 % de cuarzo, 1 % de feldespato Plagioclasa, 2 % de calcita, 1 % de siderita y 55 % de minerales de arcillas. Por lo que la arena se considera sucia debido al porcentaje de cuarzo menor al 85 % y al de arcilla mayor a 10 %, aparte es inestable la arcilla debido a que su porcentaje es mayor a 35 %.

#### **■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ROCA TOTAL PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-6.**

El pozo RPN-6 a una profundidad de 8609'4'' corresponde a la arena CO-A, la cual registró a esta profundidad según el análisis de difracción de rayos X un: 75 % de cuarzo, 2 % de feldespato potásico y 23 % de minerales de arcillas, por lo que la arena se considera sucia, por el porcentaje de cuarzo menor a 85 %.

En la arena CO-E y a la siguiente profundidad de 8889'8'' donde se presentó un: 34 % de cuarzo, 1 % de calcita, 6 % de yeso, 1 % de feldespato potásico y 58 % de minerales de arcillas, teniendo en cuenta que la arcilla es problemática es cuando el valor excede a 35 %, se considera sucia por el bajo porcentaje de cuarzo contenido en la muestra a la presente profundidad.

A la profundidad de 8906', 9391'6'' y 9411'8'' de la arena CO-E se registró un: 40, 50 y 49 % de cuarzo, 2, 10 y 9 % de feldespato plagioclasa, y 58, 40 y 42 % de minerales de arcilla respectivamente; por lo que los valores minerales de arcillas son superiores a 35 % por lo que se consideran la arena CO-E para las diferentes profundidades mencionadas anteriormente inestable, este alto valor da indicios de una alteración de la permeabilidad en las cercanías del pozo. La arena es considerada sucia tanto porcentaje de cuarzo a ambas profundidades es menor a 85 %.

En la arena CO-K, a la profundidad de 9430'9'', presentó un: 61 % de cuarzo, 2 % de feldespato plagioclasa, 2 % de feldespato potásico y 51 % de minerales de arcillas, teniendo en cuenta que la arcilla es problemática es cuando el valor es muy alto, la arena se considera sucia por presentar un porcentaje de cuarzo menor al valor teórico.



---

Los resultados obtenidos en la arena CO-K a una profundidad de 9431'4'' se registró: 64 % de cuarzo, 1 % de feldespato Plagioclasa y 35 % de minerales de arcillas. Por lo que la arena se considera sucia debido al porcentaje de cuarzo menor al 85 % y al alto porcentaje de arcilla destacando que el valor teórico límite de arcilla para ser considerada inestable es 35%.

### **■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ROCA TOTAL PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-11.**

En pozo RPN-11, a una profundidad de 9668', se encuentra la arena CO-K, la cual registró: 71 % de cuarzo, 9 % de feldespato plagioclasas y 20 % de minerales de arcillas, la arena se considera sucia.

Los minerales de roca total pertenecientes a la arena CO-K, a la profundidad de 9708'11'' donde se presentó un: 45 % de cuarzo, 7 % de feldespato plagioclasa, 5 % de siderita y 43 % de minerales de arcillas, teniendo en cuenta que la arcilla es problemática es cuando el valor excede a 30%.

A la profundidad de 9712'2'' de la arena CO-K se registró un: 47 % de cuarzo, 2 % de feldespato plagioclasa, 1 % de siderita y 50 % de minerales de arcillas. se considera una arena sucia por el bajo porcentaje de cuarzo.

La arena CO-K a la profundidad de 9719'4'', presento un: 90 % de cuarzo, 3 % de feldespato plagioclasa, 7 % de minerales de arcillas, por lo que se considera una muestra limpia, El personal del Laboratorio Geológico El Chaure considera una muestra limpia cuando tiene un porcentaje de cuarzo mayor a 85 % lo cual ocurrió en esta muestra.

Los minerales de roca total pertenecientes a la arena CO-K, a la profundidad de 9727'5'' donde se presentó un: 68 % de cuarzo, 712 % de feldespato plagioclasa, y 20 % de minerales de arcillas, considerándose esta arena como sucia, por el porcentaje de cuarzo menor a 85 %.



---

A la profundidad de 97748'11'' de la arena CO-K se registró un: 80 % de cuarzo, 7 % de feldespato plagioclasa, y 13 % de minerales de arcillas. se considera una arena sucia por el porcentaje de cuarzo, aunque es un alto porcentaje no es mayor al estipulado para ser caracterizada como una arena limpia.

La arena CO-K a la profundidad de 9751', presento un: 63 % de cuarzo, 19 % de feldespato plagioclasa, 3 % de calcita y 15 % de minerales de arcillas, por lo que se considera una muestra sucia.

### ■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ROCA TOTAL PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-55S.

Las representaciones de los minerales de roca total de las arena productora CO-K a la profundidad de 8976' y 8988' presentando un: 36 % y 44 % de cuarzo, 5 % y 2 % de siderita, 1 % y 3 % de pirita, 54 % y 47 % de minerales d arcillas; respectivamente y 4 % para ambos caso de profundidad de feldespato plagioclasa. Por lo que ambas arenas son consideradas sucias por el porcentaje de cuarzo menor a 85%.

En la arena CO-K a la profundidad de 9002', se registró un: 37 % de cuarzo, por lo que también es una arena sucia y 63 % de minerales arcillosos, lo que significa que se corre riesgos de desestabilización en las cercanías del pozo.

La arena CO-K a la profundidad de 9012', presento un: 25 % de cuarzo, 1 % de feldespato plagioclasa, 3 % de calcita, 5 % de Siderita y 66 % de minerales de arcillas, por lo que se considera una muestra muy sucia por su bajo porcentaje de cuarzo.

### ■ Resultados de la Sección Correspondiente a los Minerales de Arcilla en Fracción Menor a Dos Micras.

La sección correspondiente a las proporciones relativas de minerales de arcilla en fracción menor a dos micras constituye el eje fundamental del presente trabajo de investigación. Como se sabe las arcillas autigénicas son silicatos de aluminio hidratados formadas por los sedimentos durante y después de la sedimentación. Estas constituyen un





---

elemento de cuidado en toda formación debido a la facilidad con la cual reaccionan con los fluidos empleados durante las operaciones de campo. El grupo de las arcillas autigénicas se encuentra conformado por la ilita, la clorita, la caolinita y la esmectita. La principal característica de la ilita y la caolinita es que ellas migran a través del espacio poroso hasta taponar las gargantas porales, la esmectita se hincha cuando entra en contacto con agua de baja concentración salina, incluso con compuestos polares hasta los orgánicos, por último la clorita tiene la particularidad de presentar problemas durante las operaciones con ácido clorhídrico (HCl) debido a su alto contenido de hierro. Conocer las proporciones de dichas arcillas presentes en el yacimiento es de gran importancia para prevenir daño en la formación debido a la interacción Roca/Fluido.

Los resultados proporcionados por el equipo de difracción de rayos X en lo referente a los minerales de arcilla se agrupan en siete grupos, el primero de ellos representado por la caolinita, el segundo por la clorita, seguido por la caolinita en combinación con la clorita, de cuarto encontramos el grupo de la ilita, seguido de la ilita en combinación con la esmectita, también se encuentra el grupo de la clorita en combinación de la esmectita y por último se encuentra el grupo que representa los porcentajes de esmectita en las muestras de estudio. Los resultados obtenidos al analizar las 30 muestras seleccionadas fueron muy variados pero principalmente puede notarse que los grupos que cuentan con mayor porcentaje son los de la Caolinita y la ilita. Los porcentajes de caolinita llegan a sobre pasar el 100% en dos muestra; correspondientes a los pozos RPN-4 y RPN-6; (9675', 8609'4'') de las arenas CO-K para ambos casos. Es necesario tener en cuenta que la caolinita tiende a migrar sobre todo cuando se encuentra en un medio básico que favorece su desprendimiento del medio poroso, la Clorita genera problemas durante las estimulaciones con ácido clorhídrico (HCl) debido a su alto contenido de hierro. Los resultados obtenidos se pueden comprender mejor al visualizar los gráficos **Tabla 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10**; donde se muestra la variación con profundidad de los distintos porcentajes para las muestras tomadas de las arcillas

## **ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS-X (MINERALES DE ARCILLAS MENOR A DOS MICRAS)**

PROCEDENCIA: POZO: RPN-3 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE







PROFUNDIDAD (PIES)	PROPORCIONES RELATIVAS DE MINERALES DE ARCILLA EN FRACCIÓN < 2 MICRAS								%						
	CAOLINITA	GLORITA	CAOL+CLO	ILITA	ILITA-ESMEC.	CORRENSITA	GLAUCONITA	ESMECTITA	10	20	30	40	50	60	70
	8695'	77			23										
8947'4"	83			17											
8957'7"	55			45											
8960'	23			77											
9453'	88			12											
9480'6"	37			63											

Tabla 4.6. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 3, por Difractometría de Rayos X.

PROCEDENCIA: POZO: RPN-4 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE



PROFUNDIDAD (PIES)	PROPORCIONES RELATIVAS DE MINERALES DE ARCILLA EN FRACCIÓN < 2 MICRAS							%									
	CAOLINITA	GLORITA	ILITA	ILITA-ESMEC.	CORRENSITA	GLAUCONITA	ESMECTITA	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
	8860'	96		4													
9136'6"	52		48														
9632'4"	75		25														
9632'8"	100																
9650'	60		40														
9675'	100																

Tabla 4.7. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 4, por Difractometría de Rayos X.

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-6 AREA: ANACO-CAMPO EL  
ROBLE**

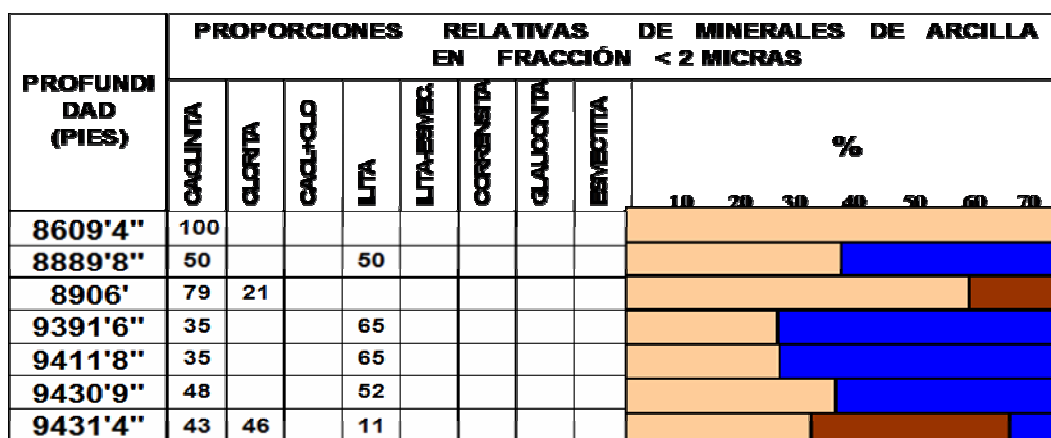


Tabla 4.8. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 6, por Difractometría de Rayos X.

**PROCEDENCIA: POZO: RPN-11 AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE**

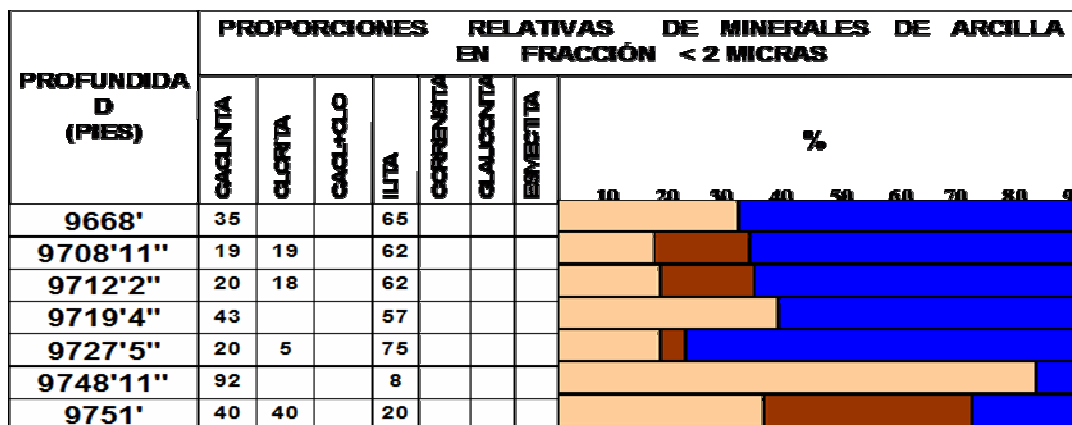


Tabla 4.9. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 11, por Difractometría de Rayos X.

PROCEDENCIA: POZO: RPN-55S AREA: ANACO- CAMPO EL ROBLE

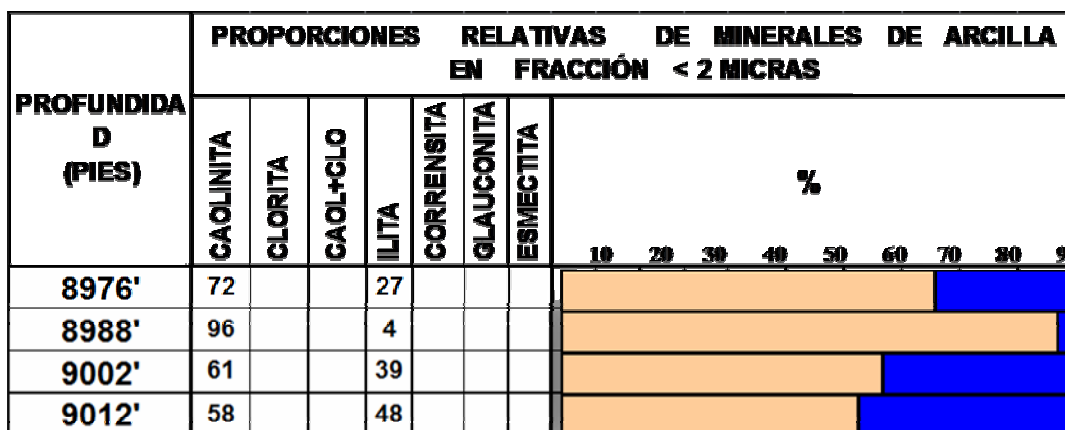


Tabla 4.10. Los resultados de minerales de arcillas en fracción > 2 micra en la muestra perteneciente al Pozo RPN- 55S, por Difractometría de Rayos X.

■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ARCILLAS PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-3.

Se puede observar que las arenas están compuestas por caolinita e Ilita, en diferentes proporciones, se analizaron seis muestras representativas del pozo RPN-3 a las profundidades de 8965` arena CO-A, 8947`4" arena CO-E, 8957`7" arena CO-E, 8960` arena CO-E, 9453`arena CO-K, 9480`6" arena CO-K. En cuatro de estas muestras, el porcentaje de caolinita es mayor al de la ilita, en estos casos la caolinita tiende a migrar a través del espacio poroso hasta taponar las gargantas porales. Todas las arenas evaluadas en este pozo son consideradas arenas sucias por sus altos porcentajes de minerales arcillosos excepto la arena CO-E a la profundidad de 8947`4", esta arena en términos generales presenta un bajo porcentaje de minerales arcillosos exactamente 6%, y alto porcentaje de cuarzo en su composición.

■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ARCILLAS PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-4.

Se puede observar que igual que el caso anterior las arenas en estudio están compuestas por caolinita e Ilita, en diferentes proporciones, se analizaron seis muestras representativas del pozo RPN-4 a las profundidades de 8860` arena CO-A, 9136`6" arena



CO-E, 9632`4” arena CO-K, 9632`8” arena CO-K, 9650` arena CO-K, 9675` arena CO-K. Dos de estas muestras, presentaron como único mineral en su composición la caolinita. En el resto de las muestras representativas de las arenas el porcentaje de caolinita es mayor al de la ilita. Cabe destacar que el alto porcentaje de las arcillas causa una desestabilización obstruyendo así el flujo. En términos generales el porcentaje de minerales arcillosos presente en las arenas evaluadas en el pozo RPN-4, excede al 30 % por lo que son consideradas arenas sucias.

#### **■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ARCILLAS PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-6.**

Se analizaron siete muestras representativas del pozo RPN-6, a las profundidades de 8609`4” arena CO-A, 8889`8” arena CO-E, 8906` arena CO-E, 9391`6” arena CO-K, 9411`8” arena CO-K, 9430`9” arena CO-K y 9431`4” arena CO-K; cuatro de estas muestras estuvieron compuestas por los minerales caolinita e Iilita en diferentes porcentajes de composición, la primera muestra estuvo compuesta solo por el mineral caolinita en este caso Este problema es fácil de resolver a través del uso de cualquier sistema de estabilización de arcillas. La tercera muestra estuvo compuesta por caolinita e ilita, la última muestra por caolinita con un 42 %, ilita 12 % y 46% de clorita. Las arenas estudiadas correspondientes a este pozo son consideradas sucias, presentan altos porcentajes de minerales arcillosos, excepto la muestra representativa de la arena CO-A tomada a la profundidad de 8609`4”, la cual presento en términos generales un porcentaje de minerales de arcillas de 23 % y es considerada sucia por el personal de la Nucleoteca de guaraguao cuando el porcentaje de minerales arcillosos excede al 30 %.

#### **■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ARCILLAS PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-11.**

Para el estudio de este pozo se analizaron siete muestras a las profundidades de 9668`, 9708`11”, 9712`2”, 9719`4”, 9727`5”, 9748`11” y 9751` representativas de la arena CO-K tres de estas muestras en su composición presentaron caolinita e Iilita y las cuatro muestras restantes presentaron caolinita, Iilita y clorita en diferentes porcentajes. Las arenas evaluadas a la profundidad de 9708`11” y 9712`2” en términos generales presentaron un



---

porcentaje de minerales arcillosos mayor al 30% exactamente 43 % y 50 %, por lo que son consideradas arenas sucias. La muestra de la arena tomada a la profundidad de 9719´4” es considerada una arena limpia ya que en términos generales presento un 7 % de minerales arcillosos.

#### **■ RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MINERALES DE ARCILLAS PRESENTES EN LAS MUESTRAS PERTENECIENTES AL POZO RPN-55S.**

Durante el estudio de este pozo se analizaron cuatro muestras representativas de la arena CO-K a las profundidades de 8970`, 8988`, 9002` y 9012, la composición de estas muestras estuvo formada por caolinita e Ilita, en diferentes proporciones: En términos generales el porcentaje de minerales de arcillas es mayor al 30%, exactamente 54 %, 47 %, 63 % y 66 %; respectivamente, por lo que las arenas son consideradas sucias.

#### **4.3. Calcular el daño a la formación a través del PIPESIM**

Durante el desarrollo de este objetivo no se logro simular los procesos de producción, tomando en cuenta todas las variantes que forman el sistema de producción desde el yacimiento hasta la superficie; debido a que no se obtuvieron los datos requeridos para realizar el modelaje de producción a través del análisis nodal. Entre los datos requeridos esta: tasa de producción, % A y S, RGP, reductor de la tubería de producción entre otros; aunado a esto no existe entrada de fluido desde el yacimiento al pozo, principal motivo por lo cual es imposible establecer el comportamiento de producción mediante la realización de un análisis nodal; con una  $Q=0$  BND no se interceptaran las curvas de oferta y demanda, principales características representativas de este tipo de estudio.

#### **4.4. Realizar Mapas de Tendencia para cada Arena Productoras de la Zona correspondiente al Campo mencionado en donde se muestra la Distribución de los distintos Tipos de Arcillas.**

En general existen dos grupos de resultados que reportar en el presente objetivo. En primer lugar se encuentran los resultados correspondientes a la sección de roca total y por



---

otro lado se encuentran los resultados correspondientes a las proporciones relativas de minerales de arcilla en la fracción menor a dos micras.

Otra observación que se pudo notar a grandes rasgos en lo correspondiente a los minerales de arcilla menor a dos micras es que existen unos altos porcentajes de Caolinita e ilita en las arenas de estudio, en algunos casos se encuentran juntas caolinita mas clorita, en otros ilita - clorita pero ciertamente lo delicado es que la clorita genera problemas durante las estimulaciones con ácido clorhídrico debido a su alto contenido de hierro y la caolinita tiende a migrar principalmente por problemas de pH, debido a que las misma presenta un pH de punto de carga cero que va de 3.5 a 4.6 y cuando a la formación ingresa un fluido con un pH mayor de este se produce el desprendimiento de la partícula y luego se genera la migración lo que termina en taponamiento de las gargantas porales y por ende una disminución de la permeabilidad en la región cercana al pozo donde la velocidad de flujo es máxima.

Actualmente la perforación en el Campo el Roble, se lleva a cabo empleando fluido base aceite, trayendo muchos problemas desde el punto de vista del daño a la formación. Como se sabe, el fluido base aceite a parte de ser altamente contaminante es mucho más fracturante que el fluido base agua y genera altos daños en la formación difíciles de remover por lo cual el Distrito de Producción Gas Anaco se encuentra en gestiones para migrar de fluido base aceite a base agua por lo menos en las formaciones de interés con lo cual se busca minimizar el nivel de daño durante la perforación y prevenir problemas de producción. Sin embargo, para lograr esto es necesario conocer las arcillas antigénicas presentes en las formaciones de interés para poder diseñar un fluido que sea lo más armónico posible con las arenas productoras por lo que se está planteando un rediseño total del proceso de perforación en el Campo mediante el uso de fluidos base agua en zonas productoras, lo cual minimizaría ciertamente el daño a la formación, causaría menos contaminación a ésta y evitaría los riesgos de cambio de mojabilidad en la vecindad del pozo. Sin embargo, uno de los problemas a los cuales deben enfrentare es al diseño del fluido, es de recordarse que el fluido base agua es muy reactivo y en la mayoría de los casos cuando sufre contaminación aumenta su viscosidad, lo cual genera problemas a la hora de circular el fluido. Este fluido también genera problemas con las arcillas; ya que al entrar en contacto con ellas genera desprendimientos o hinchamiento y de allí la



---

importancia de conocer las arcillas presentes en las formaciones productoras para mejorar el diseño del fluido y minimizar sus reacciones con la formación.

Hay que destacar la tendencia de la variación de los porcentajes de arcilla con profundidad, solo proporciona información en el pozo donde fueron tomados esas muestras y tal vez en pozos vecinos. No obstante, mediante la discriminación de los datos por arenas y utilizando simuladores es posible trazar mapas que dan una idea más clara de la tendencia que las arcillas autigénicas presentan en las arenas de interés.

La finalidad de en desarrollo de este objetivo fue emplear el programa de OFM 2005 (Oil Field Manager) para así generar unos mapas de tendencia que pudiesen dar una idea de cómo podrían las arcillas autigénicas repartirse a lo largo de dichas arenas. Se generaron 11 tendencias tanto para los minerales de roca total como de minerales de arcillas.

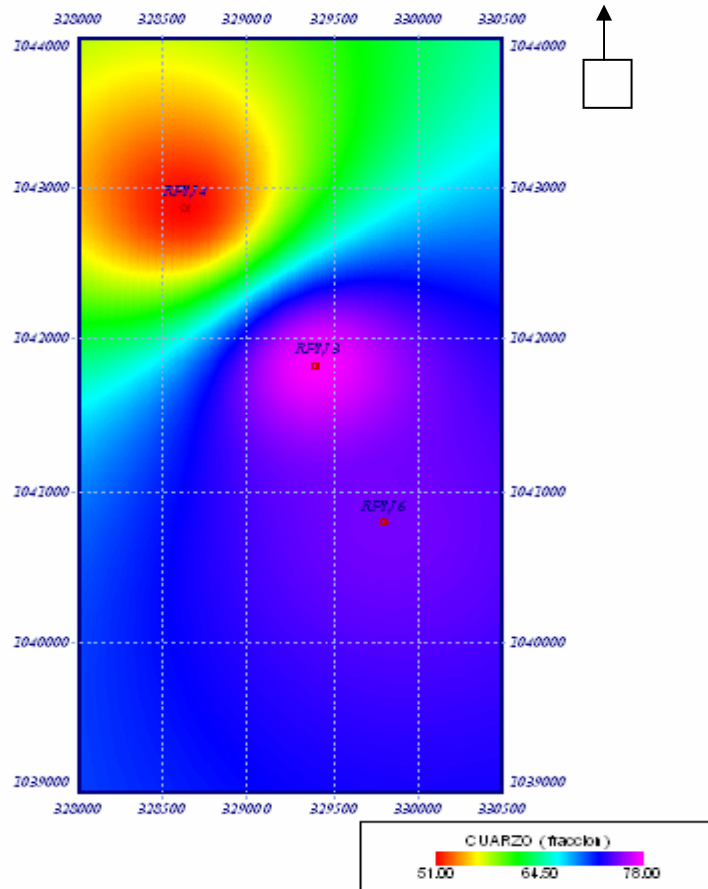
#### ■ **MAPAS DE LAS PROPORCIONES RELATIVAS DE MINERALES DE ROCA TOTAL EN % EN PESO PARA LAS ARENAS DE ESTUDIO CORRESPONDIENTES.**

##### ❖ **PORCENTAJES DE CUARZO EN LA ARENA CO-A.**

Se pueden observar la tendencia claramente del cuarzo como mineral de roca total en la arena CO-A de los pozos RPN-3, RPN-4 y RPN- 6, el cuarzo se inclina con un mayor valor hacia el Nor-este representado con el color morado en el pozo RPN-3 con 78%, luego hacia el Sur-este con el color azul es notable la disminución del porcentaje de cuarzo en el pozo RPN-6 con 75% y finaliza hacia el nor-oeste representado con el color rojo en el pozo RPN-4 con 51%. **(Ver Figuras 4.36).**



**PORCENTAJE DE CUARZO ARENA "COA"**

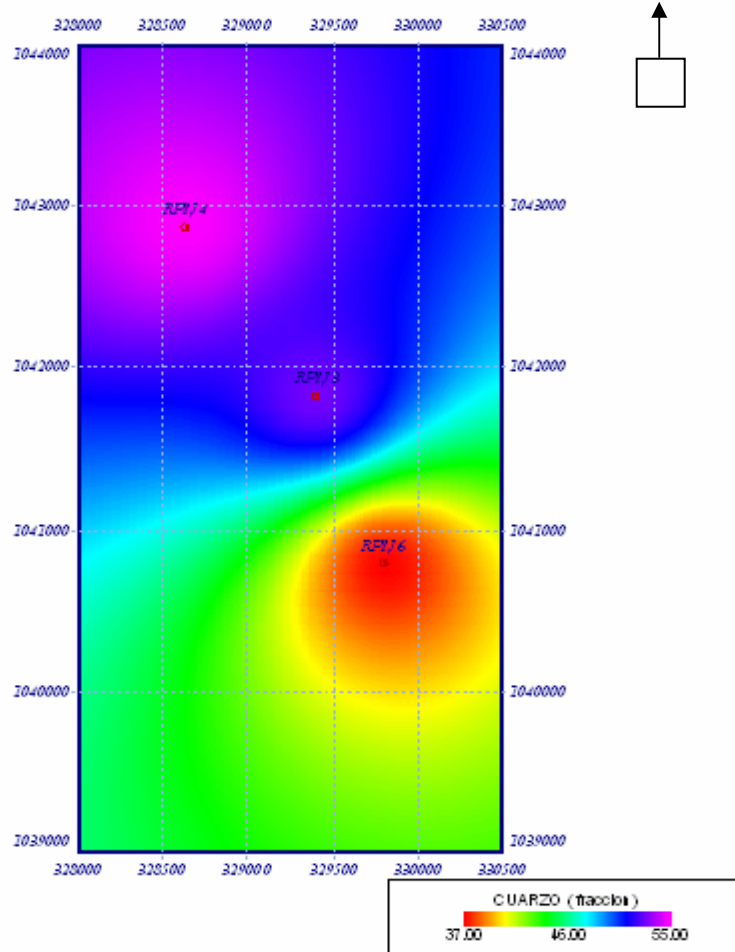


**Figura 4.36 Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-A.**

**❖ PORCENTAJES DE CUARZO EN LA ARENA CO-E.**

Se pueden observar la tendencia claramente del cuarzo como mineral de roca total en la arena CO-E de los pozos RPN-3, RPN-4 y RPN- 6, el cuarzo se inclina con un mayor valor hacia el Nor-oeste representado con el color morado en el pozo RPN-4 con un 55%, luego hacia el Nor-este con el color azul es notable la disminución del porcentaje de cuarzo en el pozo RPN-3 con 53% y finaliza hacia el sur-este representado con el color rojo en el pozo RPN-6 con 37%. (Ver Figuras 4.37).

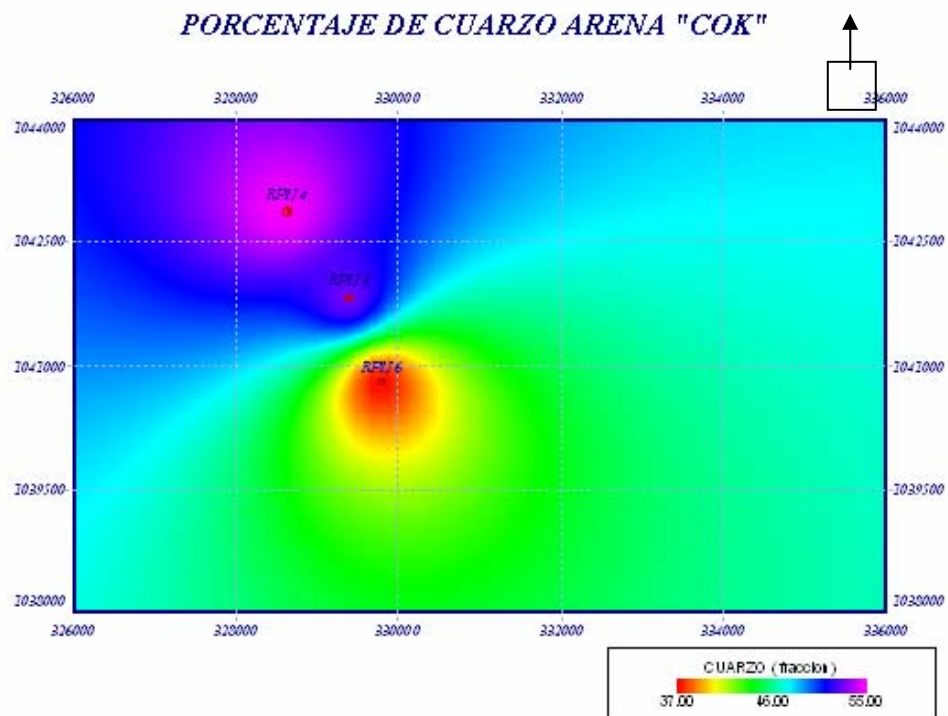
**PORCENTAJE DE CUARZO ARENA "COE"**



**Figura 4.37. Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-E.**

**❖ PORCENTAJES DE CUARZO EN LA ARENA CO-K.**

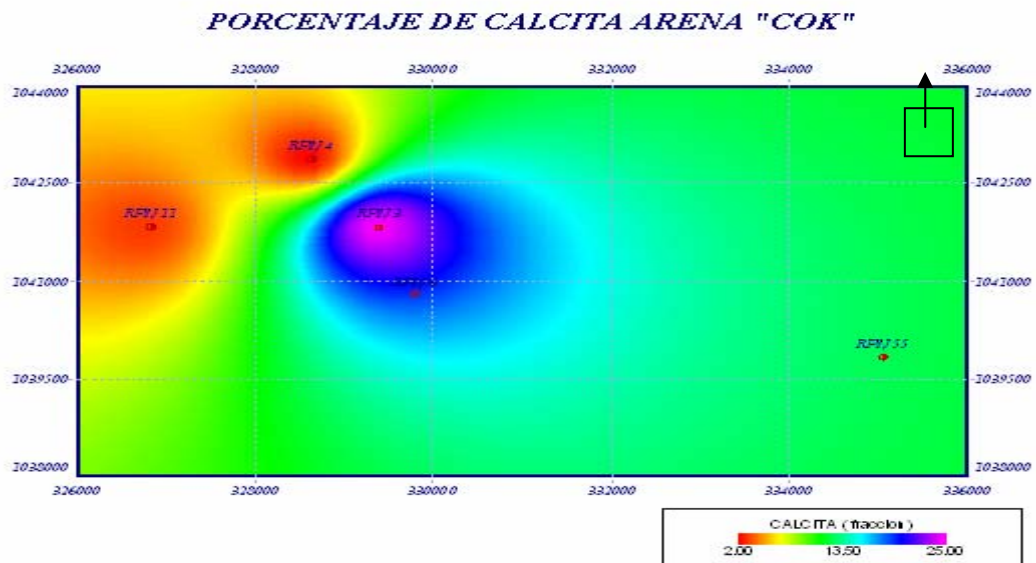
En la figura 4.38 se puede observar que el porcentaje de cuarzo en la arena CO-K se inclina hacia el Nor-oeste con 60% representado con color morado pozo RPN-3, seguido del color azul hacia el Nor-oeste del pozo RPN-6 con 56% y finaliza con el color rojo hacia el Sur- oeste del pozo RPN- 4 con 42%. (Ver Figuras 4.38).



**Figura 4.38. Mapa de los porcentajes de cuarzo en la arena CO-K.**

#### ❖ PORCENTAJES DE CALCITA EN LA ARENA CO-K.

Se pueden observar la tendencia claramente de la calcita como mineral de roca total en la arena CO-K en todos los pozos RPN-3, RPN-4, RPN-11 y RPN-55S la calcita se inclina con un mayor valor hacia el Nor-oeste representado con el color morado en el pozo RPN-3 con 25%, luego disminuye el porcentaje hacia el Sur-este con el color verde con un 3% del pozo RPN-55S y finaliza la disminución del porcentaje de calcita con el color rojo en el pozo RPN-4 y RPN-11 con 2%. (Ver figura 4.39).

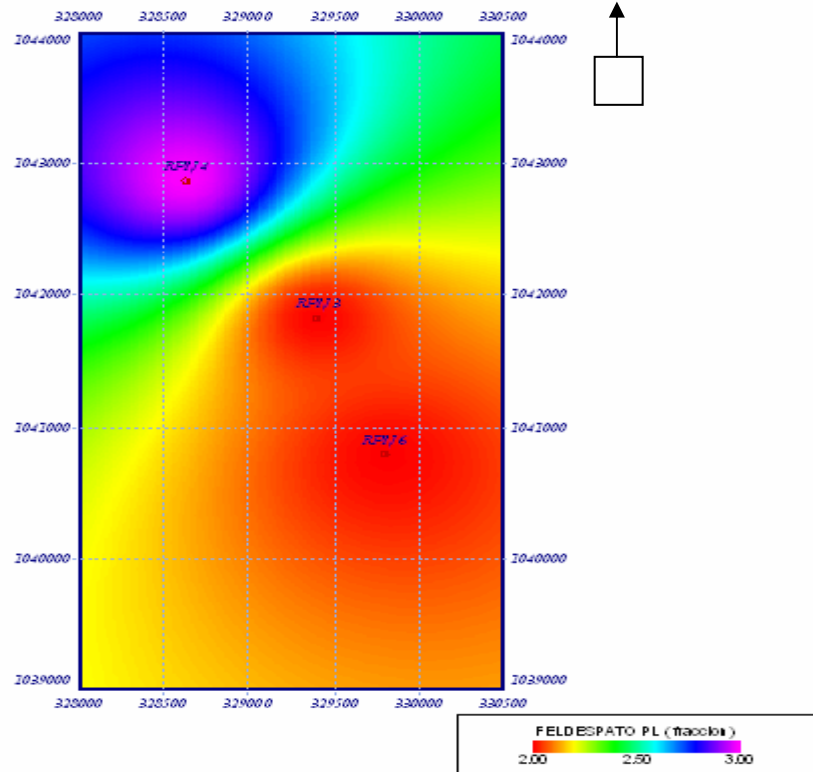


**Figura 4.39. Mapa de los porcentajes de calcita en la arena CO-K.**

❖ **PORCENTAJES DE FELDESPATO PLAGIOCLASA EN LA ARENA CO-E.**

El mineral feldespato plagioclasas se encuentra presente en la arena CO-E del pozo RPN-4; RPN-3 y RPN-6, el mayor porcentaje esta representado con el color morado hacia el Nor-oeste del pozo RPN-4 con un 3% seguido del color rojo con el color rojo hacia el Nor-este y Sur-este del pozo RPN-3 y RPN-6 con un 2% para ambos casos. (Ver figura 4.40).

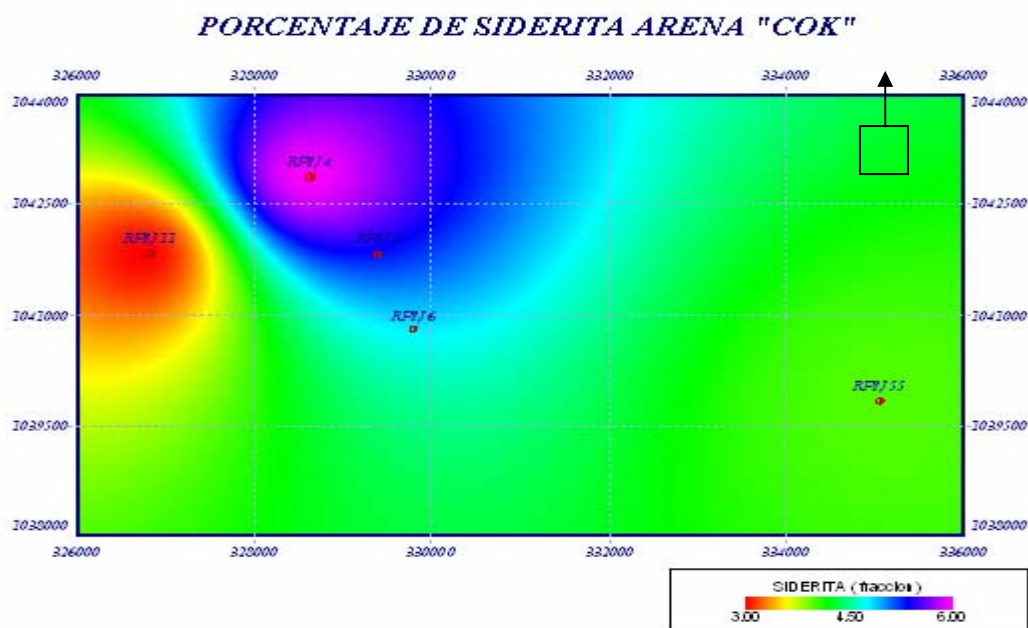
**PORCENTAJE DE FELDESPATO ARENA "COE"**



**Figura 4.40. Mapa de los porcentajes de Feldspato plagioclasas en la arena CO-E.**

**❖ PORCENTAJES DE SIREDITA EN LA ARENA CO-K.**

Se pueden observar la tendencia claramente de la siderita como mineral de roca total en la arena CO-K en los pozos RPN-4, RPN-11 y RPN-55S, la siderita se inclina con un mayor valor hacia el Nor-oeste representado con el color morado en el pozo RPN-4 con 6%, luego disminuye el porcentaje hacia el sur-este con el color verde del pozo RPN-55S con 4% y finaliza la disminución del porcentaje de siderita con el color rojo en el pozo RPN-11 con 3%. (Ver figura 4.41).



**Figura 4.41. Mapa de los porcentajes de siderita en la arena CO-K.**

#### **■ MAPAS DE LAS PROPORCIONES RELATIVAS DE MINERALES DE ARCILLAS EN FRACCIÓN MENOR A DOS MICRAS.**

De manera semi-cuantitativa ahora en cuanto a los minerales de arcillas obtenidos por el Difractómetro de Rayos X se tienen los siguientes mapas de tendencias.

La Clorita no presentó porcentaje en ninguna de las muestras analizadas, estas pertenecen a las arcillas no hidratables, esta se disuelve en HCl y ocasionan problema de retención de líquido (similar al de la Ilita), además genera problemas durante las estimulaciones con ácido clorhídrico con valores cercanos al 56 % y también debido a su alto contenido de hierro, entonces el yacimiento requiere cuidado en lo que respecta a operaciones con el ácido debido a los altos porcentajes presentes en la zona, pero en las muestras no se presentó

Así la presencia de algunos tipos de arcillas (Ilita), tiene mayor influencia en el desarrollo del proceso de presión-solución entre los granos de cuarzo en rocas clásticas. La



---

presencia de arcilla es muy importante, así como también el tipo de arcilla presente. Esta arcilla no hidratable ocasiona problemas en el yacimiento por la forma en que se presentan. Los minerales del tipo Ilita, a veces crecen en los poros como masas de finos cristales parecidos a cabellos los cuales puede reducir la permeabilidad en forma considerable. Esa estructura de pelos crea un gran volumen de microporosidad, la cual a su vez aumenta las fuerzas capilares en los poros y permite que se aloje mayor cantidad de agua en los granos donde está adherida. Esa acumulación de agua resulta en una alta saturación de agua irreducible y una baja permeabilidad al gas o al petróleo. Durante la producción la Ilita autigénica puede romperse y migrar hacia los poros, tapando la garganta de estos. Por su parte la Ilita detrítica puede migrar si se dispersa.

Se debe tomar en cuenta que el grupo de la Caolinita e Ilita son principalmente responsables de la migración de finos asociados en algunos reservorios, debido a que estos están débilmente adheridos a los granos de cuarzo y feldespatos y por lo tanto tienden a migrar fácilmente si el régimen de flujo es alto.

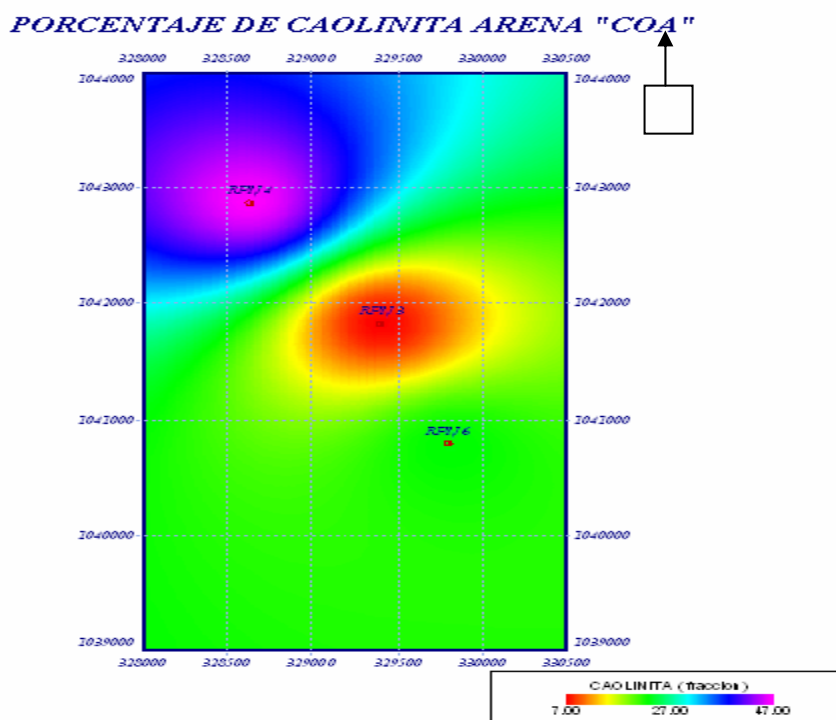
Ciertamente, estos mapas no proporcionan una tendencia exacta de los porcentajes de las distintas arcillas autigénicas que pudiesen encontrarse en dichas arenas; ya que se basan en datos puntuales y ayudado con la interpretación de un simulador, sin embargo, dan una idea del tipo de arcilla que pudiese encontrarse en esa locación para que los ingenieros de fluido y el personal de producción del material fino que pueden encontrar al ejecutar operaciones en esa zona. El simulador no presentó información disponible con relación a los contactos agua-petróleo o incluso a los bordes del yacimiento, solo presentó información de ubicación de los pozos, por ello solo se incluye esta información en los mapas.

El daño por sedimentos y arcillas incluye la invasión del reservorio por lodo de perforación, la hinchazón y/o migración de arcillas del reservorio. Las arcillas contenidas en los lodos de perforación y fluidos de completación pueden invadir el reservorio cercano, si hay una presión diferencial suficiente en contra de la formación y si el tamaño de la partícula es suficientemente pequeña. Estas arcillas forzadas dentro de la formación tapan la misma y producen fuertes daños.

Formación de precipitados por reacciones químicas en el medio poroso, entre los fluidos que se utilizan para la estimulación de pozos se encuentran los ácidos, los cuales si son usados en forma adecuada no deben causar daños a la formación. La reacción entre los ácidos y los minerales provocan la disolución de éstos, por lo que se produce la precipitación de otras especies químicas al gastarse el ácido y aumentar el Ph.

#### ❖ PORCENTAJES DE CAOLINITA EN LA ARENA CO-A.

Con respecto a los porcentajes de Caolinita presente en todas las arenas CO-A, del los pozos RPN-3; RPN-4 y RPN-6, posee la mayor tendencia hacia el Nor-oeste con un valor aproximado de 49 % del pozo RPN-4, luego hacia el Sur-este con el color verde del pozo RPN- 6 con un valor de 23%, el valor más bajos de Caolinita es de 7 % del pozo RPN-3 representado con el color rojo al Nor-este. (Ver figura 4.42).



**Figura 4.42. Mapa de los porcentajes de caolinita en la arena CO-A.**



## ❖ PORCENTAJES DE CAOLINITA EN LA ARENA CO-E.

Con respecto a los porcentajes de Caolinita presente en las arenas de CO-E, del los pozos RPN-3, RPN-4 y RPN-6, posee la mayor tendencia hacia el Sur-Este con un valor de 29 % color morado del pozo RPN-6, seguido hacia el Nor-oeste con pozo RPN-4 con 22 % representado con el color verde, finaliza con el color rojo hacia el Nor-este del pozo RPN-3 con 5%.

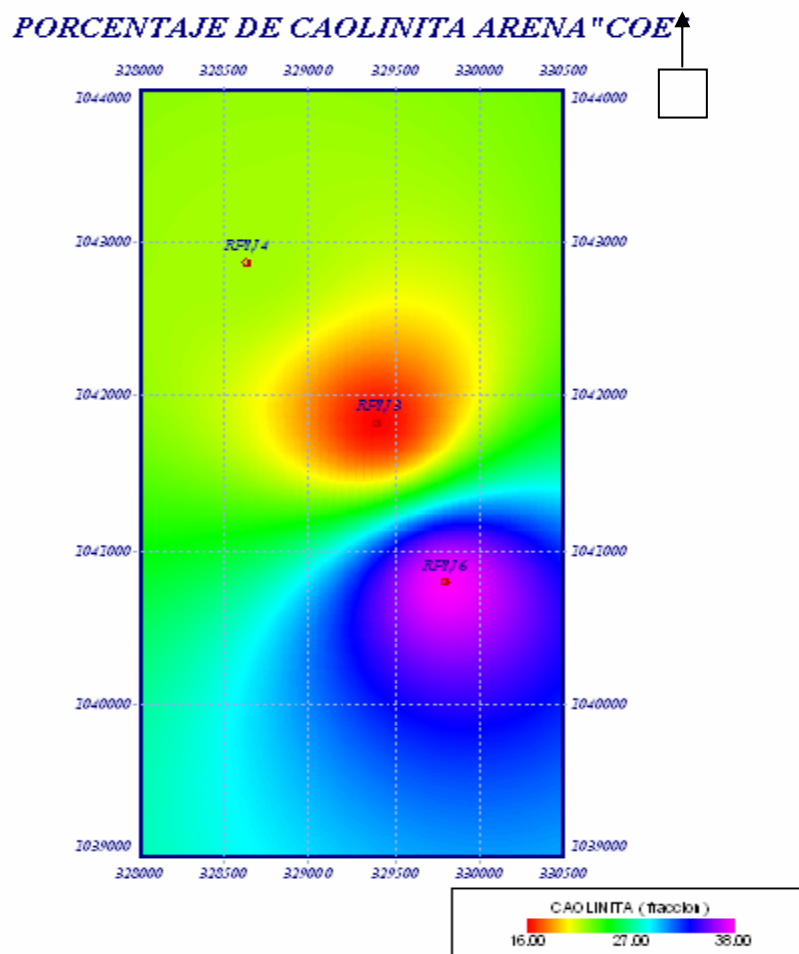
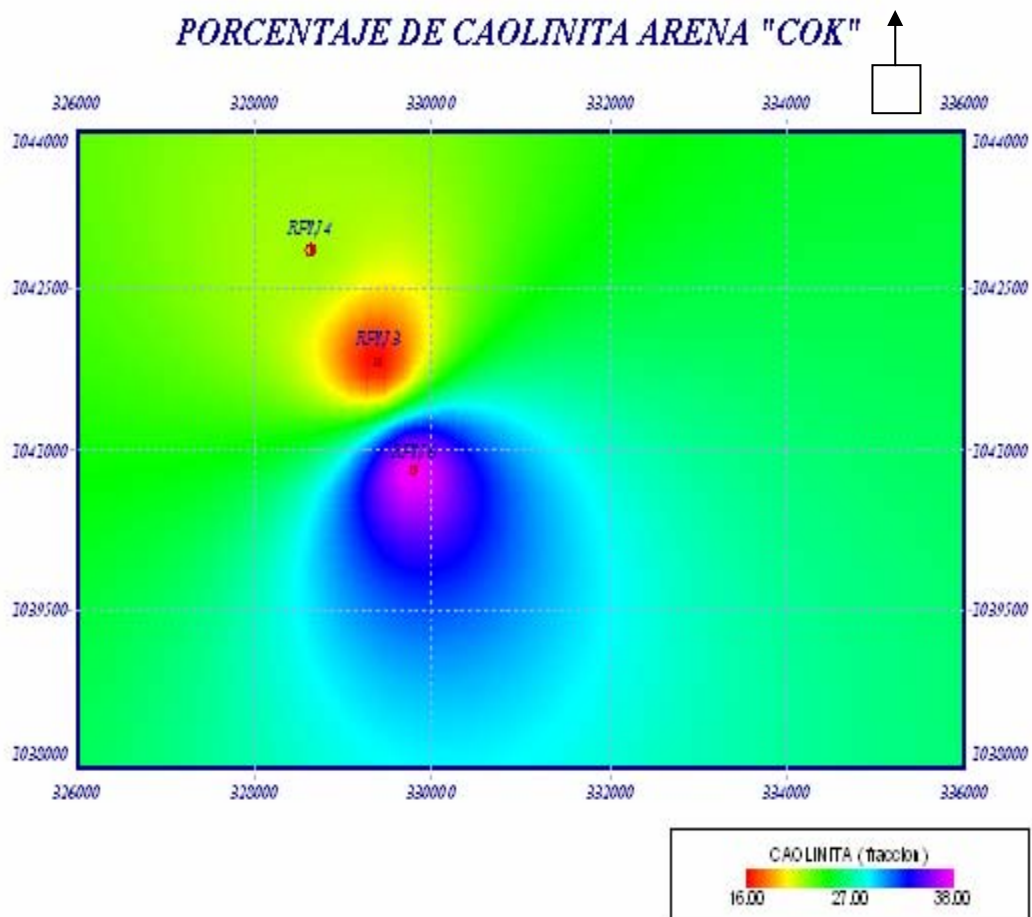


Figura 4.43. Mapa de los porcentajes de caolinita en la arena CO-E.

## ❖ PORCENTAJES DE CAOLINITA EN LA ARENA CO-K.

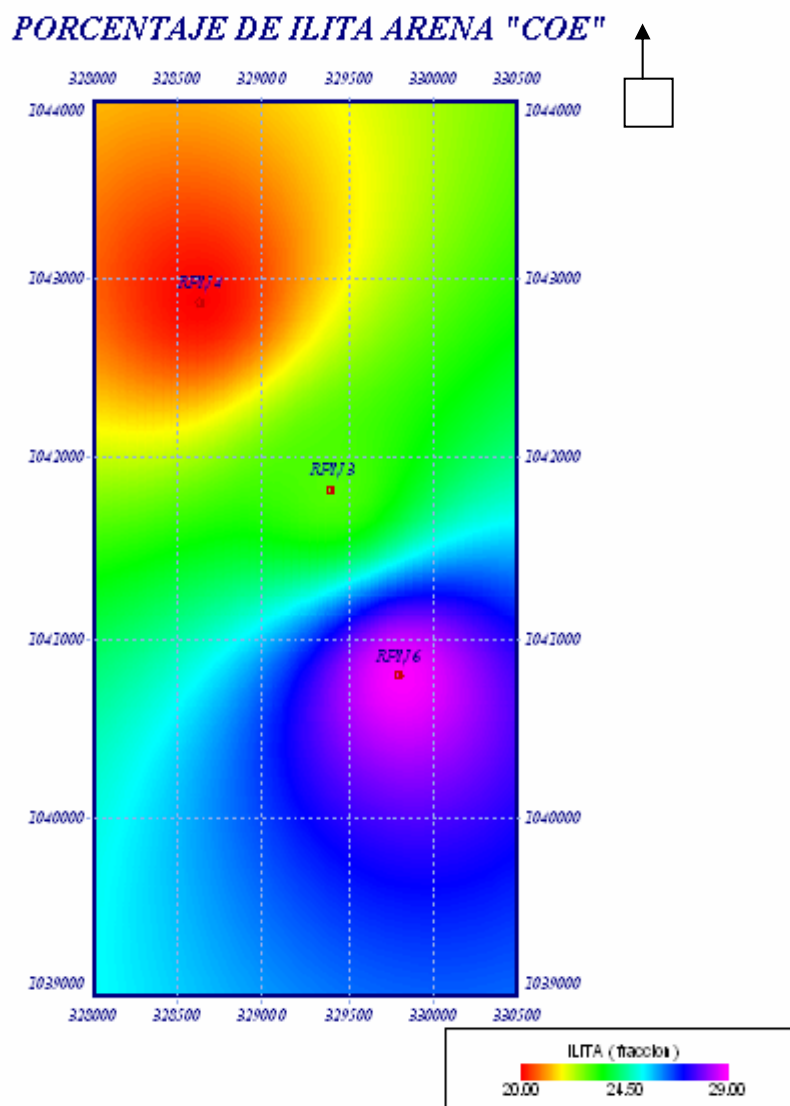
La caolinita como mineral de arcilla se encuentra presente en los pozos RPN-3, RPN-4 y RPN-6. La mayor tendencia se presenta hacia el Sur-oeste de los pozos RPN-6 con el color morado, seguido con el color verde hacia el Nor- oeste con un 16% en el pozo RPN-4 y finalmente el pozo RPN-3 con un 5% representado en el mapa con el color rojo y ubicado al sur-oeste. (Ver figura 4.44).



**Figura 4.44. Mapa de los porcentajes de caolinita en la arena CO-K.**

### ❖ PORCENTAJES DE ILITA EN LA ARENA CO-E.

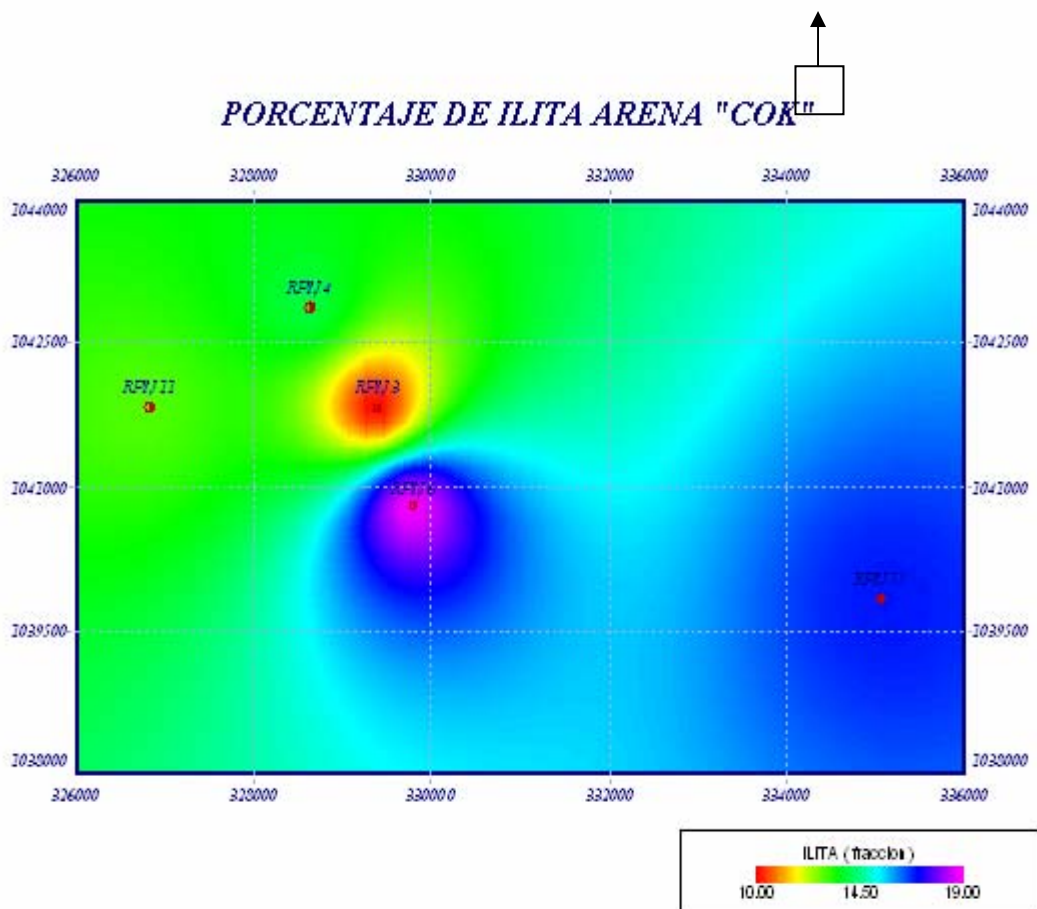
La Ilita como mineral de arcilla se encuentra presente en los pozos RPN-3, RPN-4 y RPN-6 de la arena CO-E, su mayor porcentaje se encuentra hacia el Sur-este con un 29% pozo RPN-6 representado con el color morado y finaliza con un el pozo RPN-4 representado con color rojo hacia Nor-este con un 9% de mineral de Ilita en su composición mineralógica. (Ver figura 4.45).



**Figura 4.45. Mapa de los porcentajes de Ilita en la arena CO-E.**

## ❖ PORCENTAJES DE ILITA EN LA ARENA CO-K

La Ilita como mineral de arcilla se encuentra presente en todos los estudiados de la arena CO-K, su mayor porcentaje se encuentra hacia el Sur-oeste, pozo RPN-6 con un 19% representado en con el color morado; continua el color azul en representación del pozo RPN-55S hacia el Sur-este con un 17%; seguido del color verde con el pozo RPN-4 y RPN-11 hacia el Nor-oeste con un 14% y finaliza con el pozo RPN-3 representado con color rojo hacia Nor-oeste con un 10%. (Ver figura 4.46).



**Figura 4.46. Mapa de los porcentajes de Ilita en la arena CO-K.**



---

## CONCLUSIONES

- 1) Los yacimientos productores seleccionados bajo el criterio de reserva, presión y producción acumulada del campo el Roble son: AMD 2 RC, AME 2 RPN 42, COH RPN 22, COK RPN 32, CON 2 RPN 11, MEM 2 RPN 66 y MER C 15.
- 2) La arena CO-A del pozo RPN-3 presento 78 % de cuarzo, 13 % de feldespatos plagioclasa y 9 % de minerales de arcillas, la arena se considera sucia.
- 3) La arena CO-E del pozo RPN-3 a la profundidad de 8947'4'' presento 83% de cuarzo, 5% calcita, 7% de dolomita y 6% de minerales de arcillas.
- 4) La arena CO-A del pozo RPN-6 a una profundidad de 8609'4'' presento 55% de Cuarzo, 2% de Feldespatos Potásico y 23% de minerales de arcillas.
- 5) La arena CO-E del pozo RPN-6 a la profundidad de 8906', 9391'6'' y 9411'8'' presento 40%, 50% y 49% de cuarzo, 2%, 10% y 9% de Feldespatos Plagioclasa y 58%, 40% y 42% de minerales de arcilla respectivamente.
- 6) La arena productora CO-K a la profundidad de 8976' y 8988' del pozo RPN-55S presentaron 36% y 44% de Cuarzo, 5% y 2% de Siderita, 1% y 3% de Pirita, 54% y 47% de minerales de arcillas; respectivamente y 4% Feldespatos Plagioclasa para ambos casos.
- 7) Las arenas del pozo RPN-3 y RPN-4 están compuestas por Caolinita e Ilita como minerales de arcillas.
- 8) Las arenas del pozo RPN-6 y RPN-11 están compuestas por Caolinita, Ilita y Clorita como minerales de arcillas.
- 9) Las arenas CO-K del pozo RPN-55S están compuestas por Caolinita e Ilita como minerales de arcillas.



- 
- 10) Para la arena CO-E en lo que respecta al Cuarzo los porcentajes de este mineral tienden a aumentar hacia la zona NO del yacimiento, a disminuir hacia el NE del mismo 55%, NE 53% y SE 37%.
  - 11) Para la arena CO-E en lo que respecta al feldespato plagioclasa los porcentajes de este mineral tienden a aumentar hacia la zona NO del yacimiento 3%, a disminuir hacia el NE y SE del mismo 2%.
  - 12) Para la arena CO-A en lo que respecta al mineral Caolinita los porcentajes de este mineral tienden a aumentar hacia la zona NO del yacimiento 3%, a disminuir hacia el SE del mismo 23%, NE 7%.
  - 13) Para la arena CO-E en lo que respecta al mineral Ilita los porcentajes de este mineral tienden a aumentar hacia la zona SE del yacimiento 29%, a disminuir hacia el NO del mismo 9%.



---

## RECOMENDACIONES

Finalizado el análisis del estudio previo, además de la problemática adversa, se procede a recomendar las posibles alternativas que puede seguir la empresa, como son las siguientes:

- ❖ Reducir el uso de ácido clorhídrico en zonas donde aparezcan los porcentajes de Clorita tan elevados, esto con la finalidad de evitar precipitados indeseables producto del alto contenido de hierro en ella.
- ❖ En presencia de la illita se debe evitar sistemas base agua y debe usarse sistemas hidrocarburos o KCl. Para eliminar el daño de formación se debe acidificar con HCl / HF.
- ❖ Realizar análisis de difracción de rayos X a los campos que no lo posean, ya que es una herramienta valiosa a la hora de planificar perforaciones, completaciones y estimulaciones.
- ❖ Realizar pruebas de compatibilidad fluido-fluido y fluido-roca para estimar la reacción de las arenas productoras. Además de mejorar la base de datos de arenas de interés del Campo en función de petrofísica y mineralogía.
- ❖ Mejorar y actualizar las carpetas de los pozos pertenecientes al Campo el Roble para obtener un mejor acceso para los datos de interés, específicamente los pozos más viejos o antiguos. Además de vaciar esa información en el programa electrónico de las carpetas SIMDE.
- ❖ Crear fracturas para que las arenas coloradas puedan producir, ya que estas se encuentran presurizadas. Estudios han demostrado que estas arenas presentan reservas recuperables estimables.



---

---

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1) Bermúdez Luyra, desarrolló el estudio titulado “Caracterización de las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al Campo Guarío del Distrito de Producción Gas Anaco”. Tesis de Grado UDO, marzo (2008)
- 2) Hernández M, realizó un estudio titulado “Caracterización de las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al campo Santa Rosa del Distrito de Producción Gas Anaco” . Tesis de Grado UDO (2008).
- 3) Akch Koro Rana; Díaz D. “Análisis de productividad de los pozos en la arena ME – T 4,5 del campo el Roble”. Tesis de Grado UDO, Febrero (2007).
- 4) Pamela Bello. “Caracterización de las arcillas cementantes de las arenas productoras pertenecientes al Campo San Joaquín”. Tesis de Grado UDO, Febrero (2008).
- 5) Informes finales emitidos por la Gerencia de Perforación del Distrito Anaco.
- 6) Carpetas de Pozos. Archivos de PDVSA en Campo Norte.
- 7) Salas R. “Fluidos de Perforación”. Fondo Editorial UDO.
- 8) Rivera Jose “Prácticas de ingeniería de yacimientos”. septiembre 2004.



## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

<b>TÍTULO</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS CEMENTANTES DE LAS ARENAS PRODUCTORAS PERTENECIENTES AL CAMPO EL ROBLE DEL DISTRITO GAS ANACO.</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

## AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>Rizalez R. Anyela M.</b>	<b>CVLAC: V-14.930.319 E MAIL: Anyela_247@hotmail.com</b>
<b>González G. Anyelis Y.</b>	<b>CVLAC: V-18.417.540 E MAIL: yexana14@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Clasificación de yacimientos

---

Tipos de Arcillas

---

Daño a la formación

---

Fluidos de Completación

---

Difracción de Rayos X

---

—

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Petróleo

## RESUMEN (ABSTRACT):

El estudio realizado tuvo como propósito fundamental caracterizar las arcillas cementantes presentes en las arenas productoras del campo El Roble. Para realizar el estudio se seleccionaron 5 pozos (RPN-3, RPN-4, RPN-6, RPN-11, RPN-55S) los cuales poseían núcleos de las arenas en estudio, las colorados, específicamente las CO-A, CO-E y CO-K a la profundidad de interés. A los núcleos representativos de estas arenas a la profundidad de interés se le realizó análisis en laboratorio aplicando técnicas de difracción de rayos X. Dicha técnica se aplicó para determinar el tipo de arcillas presentes en las mismas. También se aplicó la herramienta OFM para crear mapas de tendencias. Los resultados obtenidos arrojaron que la composición mineralógica de roca total estuvo formada principalmente por: cuarzo y feldespato, y como minerales de arcillas menores a 2 micras: caolinita e illita. Tras la culminación del estudio se determinó que las arenas/yacimientos colorados a pesar de tener reservas y presión para ser explotadas no se encuentran produciendo en ninguno de los pozos analizados. Por lo que se hicieron recomendaciones tomando en cuenta los minerales de arcillas presentes en dichas formaciones con la finalidad de minimizar los daños causados por la interacción roca/fluido

que pudiesen ocurrir por un mal diseño del fluido si se decide activar dichas arenas/yacimientos.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Morales, Jhonles	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	9.726.435			
	E_MAIL	jhonles123@hotmail.com			
	E_MAIL				
Salas, Roberto	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Rodríguez, José	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Rondón, José	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011 AÑO	11 MES	DÍA
-------------	-----------	-----

LENGUAJE. SPA**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS	Aplicación/msword
CEMENTANTES DE LAS ARENAS PRODUCTORAS	
PERTENECIENTES AL CAMPO EL ROBLE DEL	
DISTRITO GAS ANACO.	

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

ALCANCE

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero de Petróleo \_\_\_\_\_

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pre-Grado \_\_\_\_\_

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería de Petróleo \_\_\_\_\_

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente / Núcleo de Anzoátegui \_\_\_\_\_

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

*De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”*

---

**Rizalez Anyela**

**Autor**

---

**González Anyelis**

**Autor**

---

**Salas Roberto**  
**Asesor**

---

**Rodríguez José**  
**Jurado**

---

**Rondón José**  
**Jurado**

---

Rayda Patiño  
**Por la subcomisión de tesis**