



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

**METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN
DE ARENA EN POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS
CAMPO OROCUAL**

**REALIZADO POR:
JOSÉ NICOLÁS CARREÑO CARREÑO
JOSELIN JOSÉ BONETT LÓPEZ**

**Monografía de Investigación, en Modalidad Curso Especial de Grado,
Presentado ante la Universidad de Oriente para Obtener el Título de:
INGENIERO DE PETRÓLEO**

MATURÍN, JULIO DE 2024



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

**METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN
DE ARENA EN POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS
CAMPO OROCUAL**

**REALIZADO POR:
JOSÉ NICOLÁS CARREÑO CARREÑO**

CI: 25844464

JOSELIN JOSÉ BONETT LÓPEZ

CI: 26532268

REVISADO POR:


MSC. ANA HERNANDEZ

Asesor académico.

MATURÍN, JULIO DE 2024



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

METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN
DE ARENA EN POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS
CAMPO OROCUAL

REALIZADO POR:

JOSÉ NICOLÁS CARREÑO CARREÑO

CI: 25844464

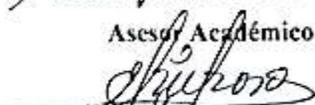
JOSELIN JOSÉ BONETT LÓPEZ

CI: 26532268

APROBADO POR:

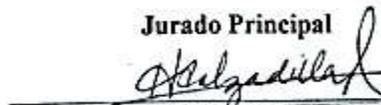

MSC. ANA HERNANDEZ

Asesor Académico


ING. MARITHA ESPINOZA
Jurado Principal


MSC. JOHANGEL CALVO

Jurado Principal


MSC. HORTENSIA CALZADILLA
Jurado Principal

MATURÍN, JULIO DE 2024



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

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EICA-IP-2024

MODALIDAD: CURSOS ESPECIALES DE GRADO

ACTA N°000003130-00165-03-2024

En Maturín, siendo las 2 pm del día 23 de julio del 2024 reunidos en la Sala "A3 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: MSc. Ana Hernández (Asesor Académico), MSc. Johangel Calvo (Jurado), MSc. Hortensia Calzadilla (Jurado), Ing. Martha Espinoza (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Ingeniero de Petróleo, se procedió a la presentación de la Monografía de Investigación, titulada: ~~METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ARENA EN POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL~~. Por la Bachiller: JOSELIN JOSE BONETT LOPEZ C.I. 26.532.268. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: Aprobado por unanimidad

Br. Joselin José Bonett López
C.I.: 26.532.268

Prof. MSc. Ana Hernández
C.I.: 13.915.353
Asesor Académico

Prof. MSc. Johangel Calvo
C.I.: 14.939.884
Jurado

Prof. MSc. Carlos De La Cruz
C.I.: 12.664.336
Sub-Comisión de Trabajo de Grado

Prof. MSc. Hortensia Calzadilla
C.I.: 11.781.858
Jurado

Prof. Ing. Martha Espinoza
C.I.: 8.369.941
Jurado



Prof. Ing. Jesús Ojeda
C.I.: 14.940.176
Jefe de Departamento



Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente, "NOTA. Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N° 384 del 15° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Petróleo, EICA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.



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

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EICA-IP-2024

MODALIDAD: CURSOS ESPECIALES DE GRADO

ACTA N°000003131-00166-03-2024

En Maturín, siendo las 2 pm del día 23 de julio del 2024 reunidos en la Sala "A3 Postgrado", Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: MSc. Ana Hernández (Asesor Académico), MSc. Johangel Calvo (Jurado), MSc. Hortensia Calzadilla (Jurado), Ing. Martha Espinoza (Jurado). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de **Ingeniero de Petróleo**, se procedió a la presentación de la Monografía de Investigación, titulada: **METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ARENA EN POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL**. Por el Bachiller: **JOSÉ NICOLAS CARREÑO C.I. 25.844.464**. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como:

Aprobado por unanimidad

José Carreño

Br. José Nicolás Carreño Carreño
C.I.: 25.844.464

Ana Hernández

Prof. MSc. Ana Hernández
C.I.: 13.915.353
Asesor Académico

Johangel Calvo

Prof. MSc. Johangel Calvo
C.I.: 14.939.884
Jurado

Carlos De La Cruz

Prof. MSc. Carlos De La Cruz
C.I.: 12.664.336
Sub-Comisión de Trabajo de Grado



Hortensia Calzadilla

Prof. MSc. Hortensia Calzadilla
C.I.: 11.781.853
Jurado

Martha Espinoza

Prof. Ing. Martha Espinoza
C.I.: 8.369.941
Jurado

Jesús Otahola

Prof. Ing. Jesús Otahola
C.I.: 14.940.176
Jefe de Departamento

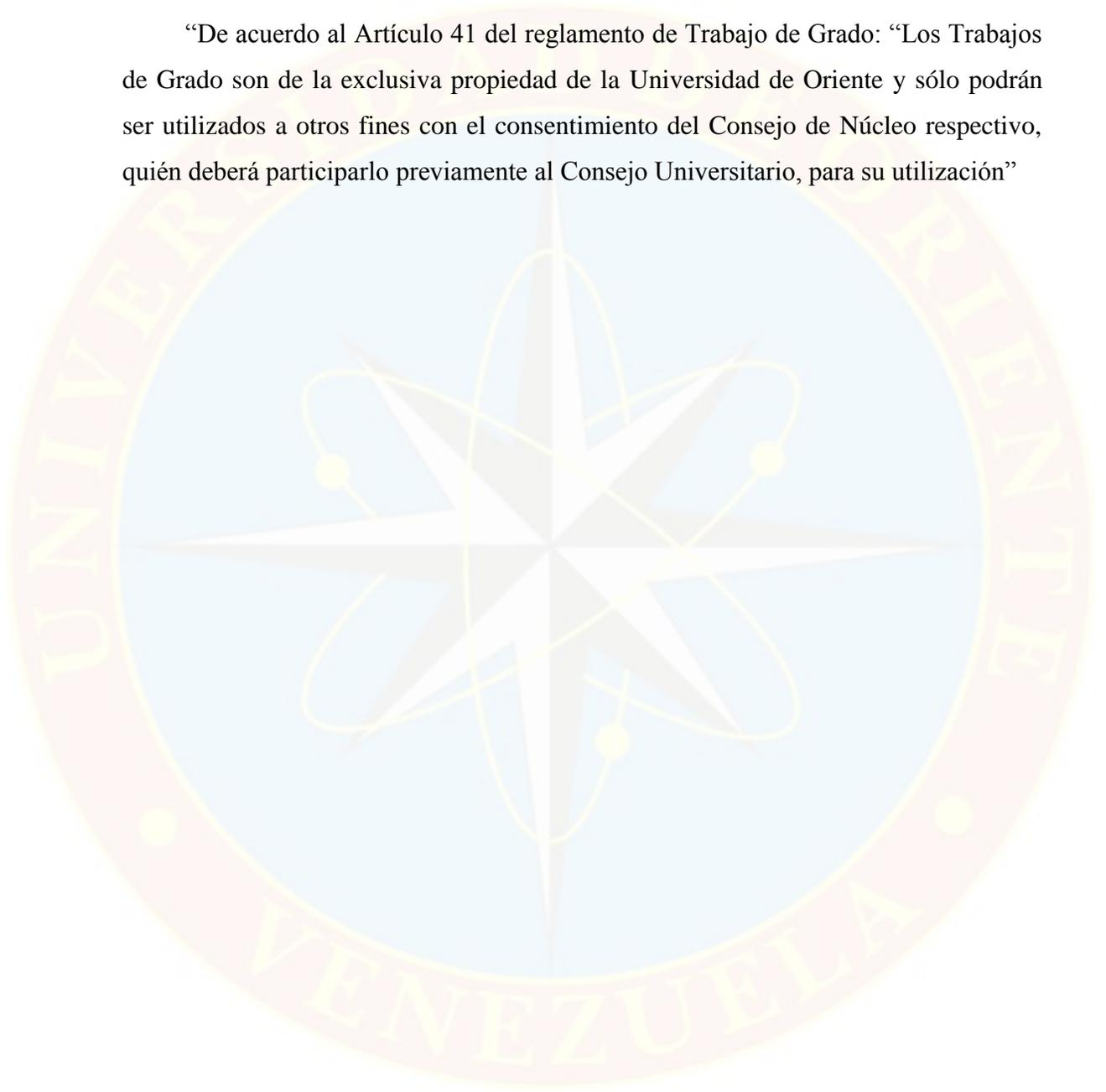


Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/05/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. *NOTA: Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N° 385 del 15° libro de Actas de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería de Petróleo, EICA de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

RESOLUCIÓN

“De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado: “Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su utilización”



DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por guiarme en todo momento, darme la fuerza y la sabiduría para alcanzar esta meta.

A mis padres Yoel Bonett y Neyda López, por ser mis pilares y por el apoyo incondicional que siempre recibí. Este logro es de ustedes.

A mi hermano Yoel Bonett, por aconsejarme siempre y brindarme su apoyo desde que inicie la carrera.

A mi novio Abrahan Zaragoza, por siempre estar a mi lado, ayudándome y darme la motivación para seguir adelante.

A mí porque lo merezco, por todo el esfuerzo y la dedicación para llegar hasta aquí. Por ser siempre perseverante, responsable y apasionada por mi carrera a pesar de todos los obstáculos y adversidades en el camino, la satisfacción en mi corazón es inigualable.

JOSELIN JOSÉ BONETT LÓPEZ.

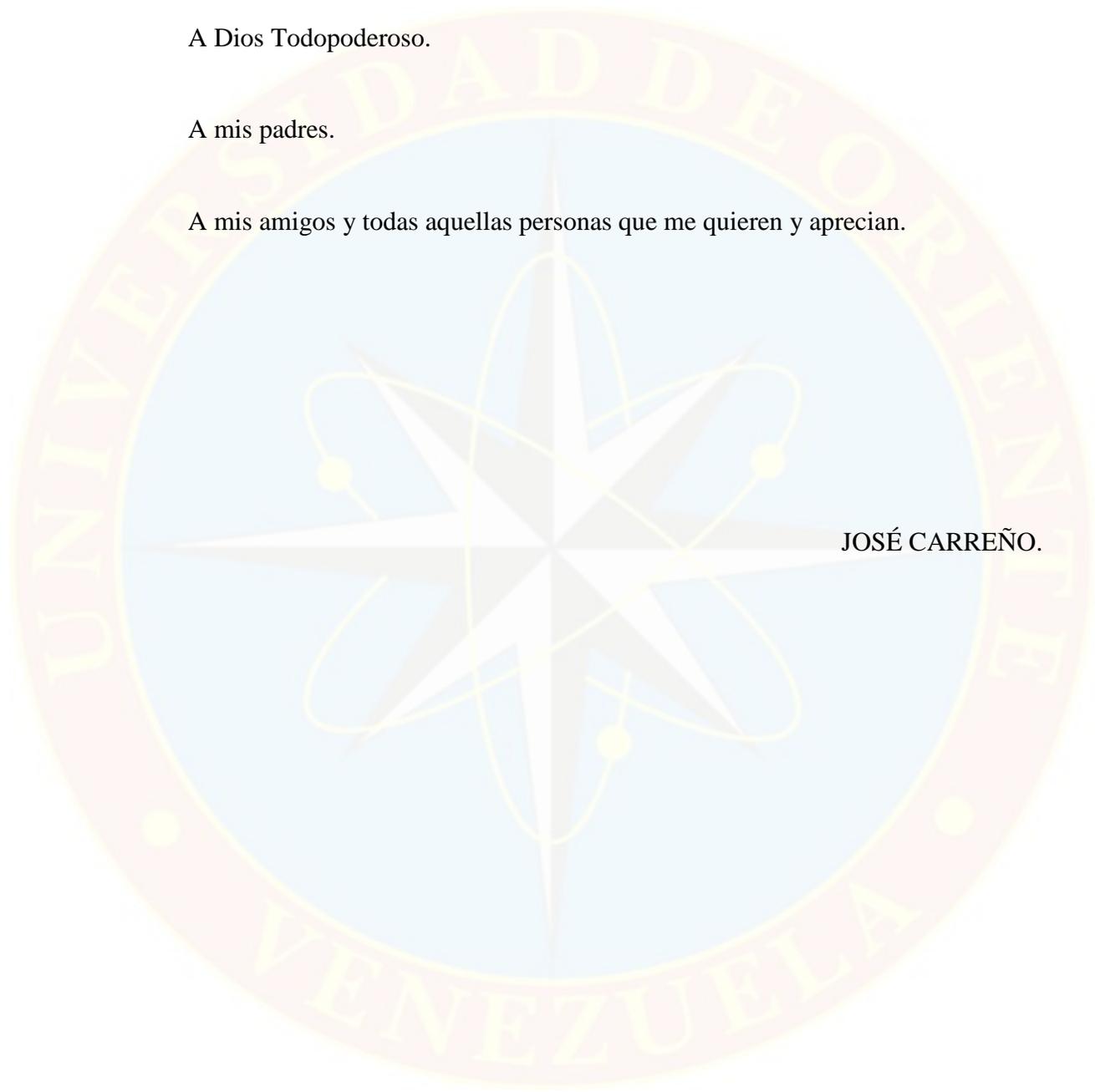
DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A mis padres.

A mis amigos y todas aquellas personas que me quieren y aprecian.

JOSÉ CARREÑO.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi DIOS todo poderoso por guiarme a lo largo de este camino, por llenarme de paciencia, sabiduría y darme las fuerzas de continuar y nunca rendirme. EL TIEMPO DE DIOS ES PERFECTO.

A mi mami Neyda López y papi Yoel Bonett, por el apoyo incondicional en toda mi vida, y en esta etapa universitaria, gracias por estar siempre para mí, por las palabras de aliento, el amor y no dejarme caer ni rendirme nunca. LOS AMO MAMI Y PAPI.A mi hermano Yoel Bonett, por ser mi mayor ejemplo, por ayudarme, apoyarme y guiarme en cada momento.

A mi novio Abrahan Zaragoza, por su apoyo incondicional todos estos años, por estar siempre a mi lado, alentándome a seguir y lograr este objetivo. A mi amiga y compañera Diana Cedeño, por acompañarme en esta etapa universitaria y hacerla mucho más fácil con su compañía y apoyo. A mis amigas incondicionales, Yhulia Blohm y Euliannys Calderón, por su apoyo todos estos años, por creer en mí siempre y animarme a continuar. ¡Las Quiero!

A mi profesora y tutora MSc. Ana Hernández por su apoyo incondicional, su ayuda y sus consejos para realizar este trabajo, y su amor al transmitir sus enseñanzas.MIL GRACIAS A todos mis familiares y amigos, que brindaron su apoyo, y estuvieron pendientes de la culminación de esta etapa y siempre darme ánimos para terminarla. GRACIAS A TODOS.

JOSELIN JOSÉ BONETT LÓPEZ.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fuerza y la salud para alcanzar todas las metas propuestas en esta etapa formativa, por permitirme desarrollar este proyecto, por darme el valor e inteligencia para superar los momentos de dificultades, por iluminar mi camino y orientar mis decisiones.

A mis padres, Alibi Carreño y Zuley Carreño, por su incondicional compañía y apoyo, por ayudarme a sortear las dificultades presentadas en la carrera, por la educación brindada, por una formación con carácter y valores, por compartir su experiencia, conocimiento y consejos conmigo.

A mi novia Vilica Bustamante, por su incondicional compañía, apoyo, consejos y disposición durante el curso de la carrera y desarrollo de este proyecto.

A Rosa Brito, por haber estado ahí durante esta etapa, por escucharme, apoyarme y ayudarme incondicionalmente.

A familiares y amigos que formaron parte en éste proceso. A los ingenieros Johangel Calvo, Martha Espinosa, Hortensia Calzadilla, Ana Hernández y la Universidad de Oriente por brindarme su experiencia, compartir su conocimiento y contribuir de tantas formas en el proceso para alcanzar éste objetivo.

A mi compañera Joselin Bonett por su paciencia, confianza y empeño durante el desarrollo del proyecto.

JOSÉ CARREÑO.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	ix
ÍNDICE GENERAL	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
2.3 BASES TEÓRICAS.....	12
2.3.1 Producción de arena.....	12
2.3.2 Origen de la producción de arena.....	12
2.3.3 Arcos de arena.....	13
2.3.4 Clasificación de la producción de arena.....	14
2.3.5 Arenamiento.....	15
2.3.6 Factores que afectan la producción de arena.....	15
2.3.7 Causas de la producción de arena.....	17
2.3.8 Efectos de la producción de arena.....	20
2.3.9 Técnicas utilizadas para el control de arena.....	23
CAPÍTULO III	33
DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS	33
3.1 IDENTIFICAR LAS CONDICIONES MECÁNICAS DE LOS POZOS EN ESTUDIO.....	33
3.2 DESCRIBIR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE ARENA EN EL CAMPO OROCUAL.....	39
3.3 PROPONER UNA MATRIZ DE SELECCIÓN QUE PERMITA LA IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO ÓPTIMO PARA EL CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE ARENA EN LOS POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL.....	41

CAPITULO IV	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
4.1 CONCLUSIONES.....	45
4.2 RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	46
HOJAS DE METADATOS	48

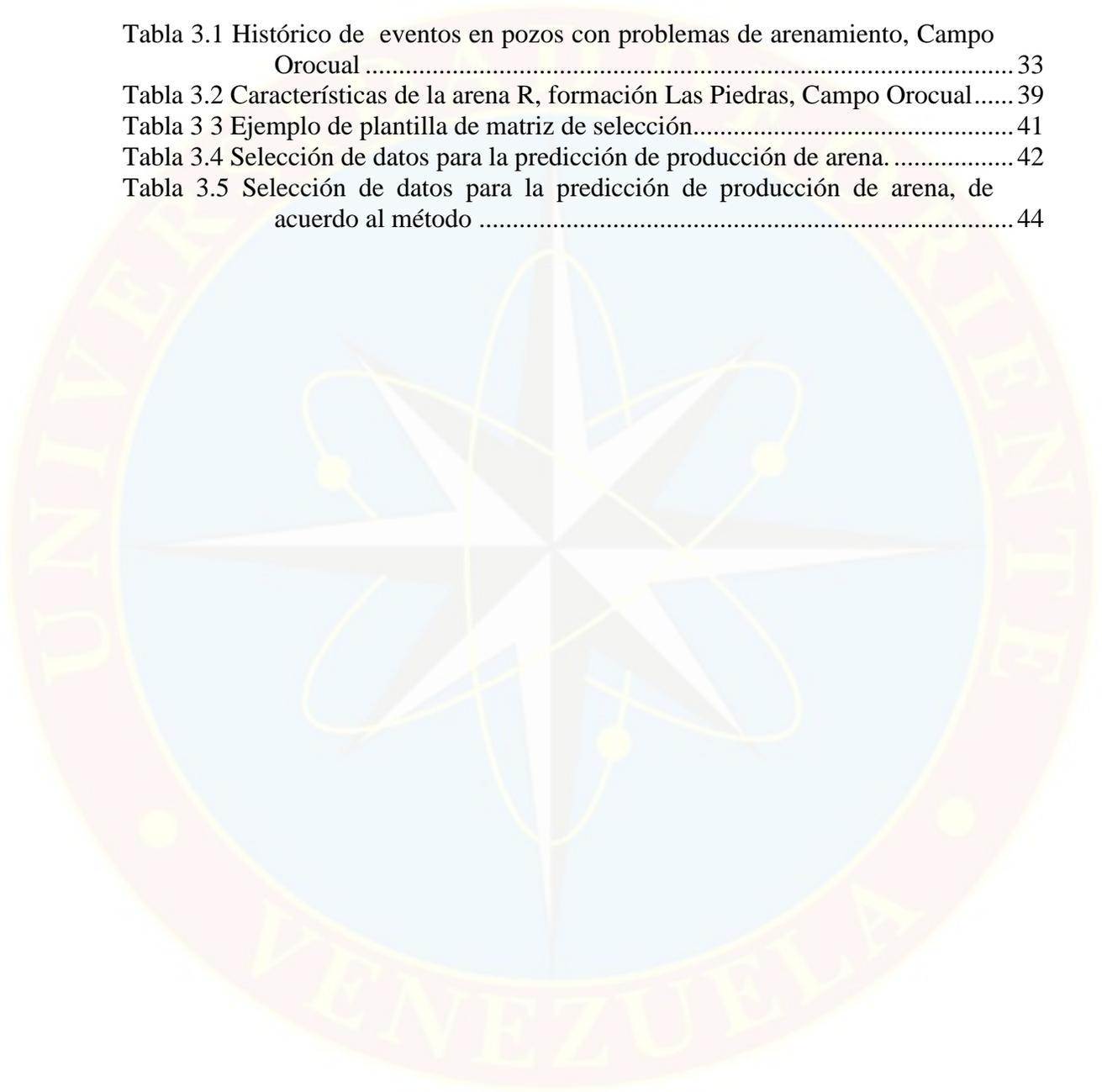


LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación Geográfica del Campo Orocuai.....	7
Figura 2.2 Visión 3D de las diferentes estructuras presentes en la Formación Las Piedras	8
Figura 2.3 Correlación Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela	9
Figura 2.4 Movimiento de los granos de arena causado por esfuerzos desestabilizadores	13
Figura 2.5 Arco estable alrededor de una perforación	14
Figura 2.6 Acumulación en equipos superficiales	21
Figura 2.7 Acumulación de arena en los equipos.	21
Figura 2.8 Erosión causada por la producción de arena.....	22
Figura 2.9 Completaciones selectivas	25
Figura 2.10 Tratamiento con resinas	26
Figura 2.11 Tratamiento con resinas	27
Figura 2.12 Tipos de rejillas pre-empacadas.....	29
Figura 2.13 Empaque con grava.....	30
Figura 2.14 Técnica Fracpack	31
Figura 3.1 Diagrama mecánico pozo OS-80.....	34
Figura 3.2 Diagrama mecánico pozo OS-85	35
Figura 3.3 Diagrama mecánico pozo OS-94.....	37
Figura 3.4 Diagrama mecánico pozo OS-100.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Histórico de eventos en pozos con problemas de arenamiento, Campo Orocuai	33
Tabla 3.2 Características de la arena R, formación Las Piedras, Campo Orocuai.....	39
Tabla 3.3 Ejemplo de plantilla de matriz de selección.....	41
Tabla 3.4 Selección de datos para la predicción de producción de arena.	42
Tabla 3.5 Selección de datos para la predicción de producción de arena, de acuerdo al método	44





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

METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DE ARENA EN LOS POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS CAMPO OROCUAL

Autores:

José Nicolás Carreño Carreño

CI: 25844464

Joselin José Bonett López

CI: 26532268

Julio, 2024.

Asesor Académico:

Msc. Ana Hernández

RESUMEN

La producción de arena ocurre cuando las partículas sólidas de la formación se desplazan junto con los fluidos atravesando el pozo hasta llegar a la superficie, ocasionando problemas mayormente de obstrucción durante la vida productiva del pozo. La producción de arena se asocia a formaciones que poseen poca cementación natural, razón por la cual los granos de arena son arrastrados en la producción de los fluidos. Esta investigación estuvo basado en el estudio de la producción de arena en la Formación Las Piedras, Campo Orocual, donde se describió detalladamente el área antes mencionada y como es la producción de arena en dicho campo. Posteriormente se identificaron las condiciones mecánicas de cuatro pozos que presentaban arenamiento en dicha área (OS-80, OS-85, OS-94 y OS-100). Finalmente, se propuso un matriz de selección para identificar el método óptimo para el cálculo de la producción de arena en el área mencionada. El resultado obtenido es la proposición de una metodología de predicción de arena, que consiste en una matriz basada en los modelos de predicción existentes (Palmer, Wingarten, Fjair y X Y).

Palabras claves: Producción de arena, Campo Orocual, Matriz de selección, Arenamiento.

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos, como el petróleo y el gas natural, representan en gran medida las mayores fuentes de energía disponible a nivel mundial. La extracción de crudo en los yacimientos someros no es una tarea fácil, aun cuando, la tecnología disponible ha evolucionado a través de los años, un problema muy común que se presenta en campo, es la producción de arena en formaciones poco o no consolidadas, generando desgastes en los equipos de fondo y superficie y en el peor de los casos obstrucciones y taponamiento en las tuberías de producción, lo que a su vez aumenta los costos de operaciones de limpieza y mantenimiento (Correa, 2020). Para frenar este fenómeno, en la industria de los hidrocarburos, se han implementado métodos mecánicos (empaque con grava, tubería ranurada), los cuales son costosos y conducen a una reducción de la productividad.

La producción de arena, generalmente, es indeseable para la vida productiva de un pozo, por esto es necesario conocer las variables que afectan a la matriz rocosa. Sin embargo, abarcar todos los factores y mecanismos en un modelo numérico es complicado y tiene muchas limitaciones. El entendimiento del fenómeno de producción de arena y de las variables que controlan este problema, es un reto debido a su complejidad. Rahmati et al., (2013), mencionan que es importante realizar el modelamiento de este fenómeno antes de hacer un procedimiento de completación de pozos, esto con el fin de optimizar la producción y evitar posibles contratiempos en las operaciones futuras.

En este proyecto, se llevó a cabo la revisión de las características de la formación las piedras y las condiciones mecánicas a través de los diagramas de pozos, además de, los eventos que ocurrieron en los pozos con producción de arena.

Se describieron las características de operación y el comportamiento de producción de los pozos con arenamiento en la formación en estudio, con el objetivo de, generar información suficiente para crear el método de predicción de arena, que se ajuste a las necesidades del área en estudio, se formuló a partir de una matriz de selección de datos, también conocida como matriz de priorización, la cual consiste, en una técnica de clasificación jerárquica para evaluar proyectos potenciales, problemas, alternativas o soluciones propuestas basadas en un criterio específico o dimensiones de calidad. Realizándose una plantilla simple de la matriz para listar el criterio deseado y las alternativas disponibles para el área en estudio. Por último, se valoraron las alternativas contra cada uno de los criterios, recolectando y analizando los datos reales del área.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de arena es un fenómeno complejo que ocurre cuando las tasas de producción de fluidos ejercen la fuerza suficiente sobre la matriz rocosa como para arrastrar granos de arena de la formación. Esta fuerza del fluido debe ser mayor a las fuerzas resistivas ejercidas por la roca, las cuales están dominadas principalmente por factores como las propiedades de la roca yacimiento, el estado de esfuerzos alrededor del pozo y el tipo de completamiento utilizado (Rahmati et al., 2013). El entendimiento del fenómeno de producción de arena y de las variables que controlan este problema es un reto debido a su complejidad.

Es importante, realizar la predicción de este fenómeno, antes completar el pozo a productor, esto con el fin de optimizar la producción y evitar posibles contratiempos. Además, el factor económico juega un papel muy importante en el día a día de la industria petrolera, y se ve afectado por la producción de arena cuando esta taponada o daña los equipos, generando costos adicionales traducidos en operaciones de limpieza, cambio de equipos o simplemente una baja en la tasa de producción del pozo.

La predicción de la producción de arena, no solo es importante para conocer un aproximado de la cantidad de arena que se va a producir, sino que también permite saber la tasa máxima de producción sin arena, esto es de suma importancia, ya que con esta información los ingenieros pueden tomar decisiones tempranas que puedan prevenir condiciones operacionales desfavorables, en este sentido, se plantea la

necesidad de proponer una metodología para la predicción de la producción de arena en pozos de la formación Las Piedras, Campo Orocual.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1 Objetivo general

Proponer una metodología para la predicción de producción de arena en pozos de la formación Las Piedras, Campo Orocual

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las condiciones mecánicas de los pozos en estudio
- ✓ Describir las características de la producción de arena en el campo Orocual.
- ✓ Proponer una matriz de selección que permita la identificación del método óptimo para el cálculo de la producción de arena en los pozos de la formación Las Piedras, campo Orocual.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la poca consolidación de las arenas en las formaciones someras del campo Orocual, la producción de arena ha sido un factor dañino para los equipos de fondo y superficie, disminuyendo la vida productiva de los pozos e incrementando los costos de mantenimiento de equipos. Por ello, se busca implementar una matriz de selección que permita identificar la producción de arena, para así, optimizar el proceso de extracción y mejorar el transporte en las líneas de producción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Correa, F (2020). ‘Evaluación de la metodología para la predicción de la producción de arena en 3 pozos del bloque esperanza’. Esta investigación, se realizó para minimizar la incertidumbre que sufre la empresa CANACOL ENERGY al no contar con un estimado de la cantidad y el tiempo en el que se va a producir la arena de 3 pozos productores de gas. Para ello se propuso evaluar la metodología para la predicción de la producción de arena en 3 pozos del bloque Esperanza¹⁶. Para lograr el objetivo se analizó la información suministrada por la Compañía de los 3 pozos candidatos, posteriormente se planteó una matriz de selección de datos en donde se relacionaron los parámetros esenciales para aplicar 4 métodos numéricos de predicción para la producción de arena y se delimitaron en la matriz los datos con los que cuenta la empresa, lo que permitió determinar que el método que más se ajusta es Palmer para el cálculo de la predicción de arena, en esa área de estudio.

Esta evaluación se relaciona con la presente investigación debido que se planteó una matriz de selección que permitió elegir el método más adecuado, en este sentido servirá de apoyo a este trabajo.

Fernández, M (2010). Estudio de las causas que provocaron problemas de arenamiento en los pozos del distrito cabrutica, división faja durante el periodo 2001-2009. El propósito principal de esta investigación se fue el estudio de las causas que provocaron los problemas de arenamiento en el campo Zuata del Distrito Cabrutica, Faja Petrolífera de Orinoco. En el desarrollo de este trabajo de grado, se estudió la configuración de los pozos, la muestra de agua y sedimentos, las pruebas

de producción, las reparaciones y/o limpiezas realizadas durante el periodo de 2001-2009 y se calculó la granulometría de las arenas drenadas por los pozos problemas. Como resultado, se determinó que los pozos que presentaron problemas de arenamiento son todos multilaterales dobles y triples, tomando en cuenta análisis granulométrico y el tipo de pozos problemas se descartó que la arena proveniente de la migración sea a través de los revestidores de la sección horizontal del pozo; adicionalmente, se observó que el lugar donde se perforó la ventana del lateral y donde se asentó la empacadura inflable del mismo, era una zona de arena, disminuyendo la integridad de estos pozos y haciendo que esta colapse.

Este trabajo sirve de apoyo a la presente investigación en cuanto al estudio de arenamiento y los problemas que trae la producción de arena en los pozos afectados, tema estudiado en la presente investigación.

Narváez, K., Arasme, O. y Castillo, R. (2010). “Estudio de la Técnica de Control de Arena con Rejillas Expandibles Aplicables a Pozos Productores de Crudos Pesados y Extrapesados”. El objetivo principal de esta investigación fue el estudio de la rejilla expandible como técnica para el control de arena en pozos productores de crudo pesado y extrapesado. En este sentido, se planteó el uso de las rejillas expandibles, como nuevo método de control de arena, el cual, a pesar de que su base se fundamenta en el mecanismo tradicional, mejora significativamente la retención de finos, con mayor área abierta al flujo de petróleo, así como también, se determinó que, es una opción rentable para la industria debido a que facilita las operaciones de pesca, reduce el tiempo del taladro, mediante la incorporación de un sistema compuesto por un cono expandible, una tubería de base perforada y una capa de filtrado.

Este trabajo tiene relación con la presente investigación en cuanto al estudio de las técnicas de control de arena más eficientes para el control de finos, las cuales servirán de base para esta investigación.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El campo Orocuál está situado aproximadamente a 20 km. al Noroeste de la ciudad de Maturín, en el distrito Piar del estado Monagas. Geológicamente ubicado en el flanco Norte de la Subcuenca de Maturín, en la Sub-Provincia septentrional de la cuenca oriental de Venezuela. Este campo está limitado al Suroeste por el campo Jusepín y al Noreste por el campo Quiriquire.

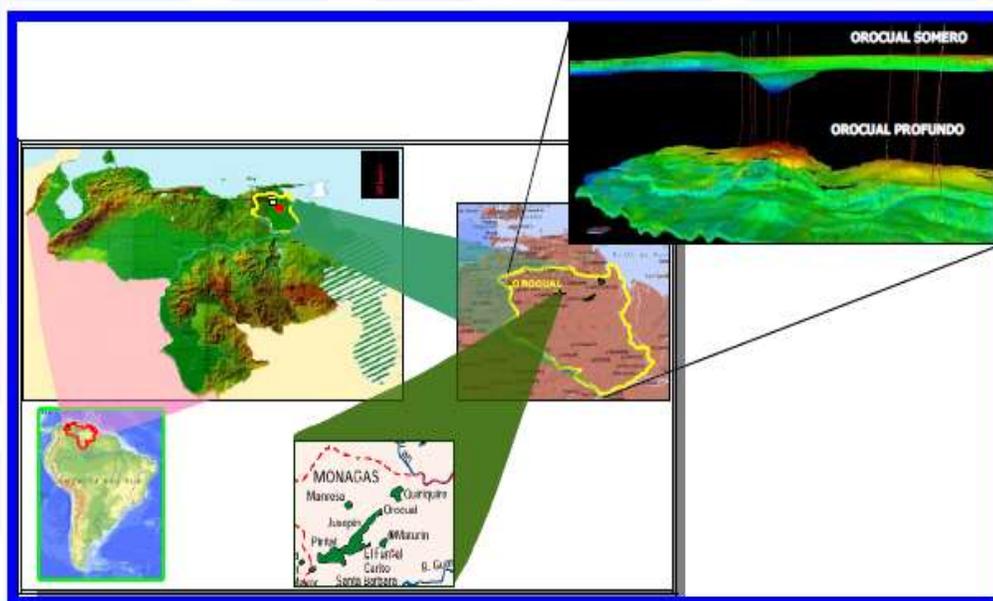


Figura 2.1 Ubicación Geográfica del Campo Orocuál

Fuente: Base de datos PDVSA

En el norte de Monagas, en la subcuenca de Maturín, se encuentra el campo petrolero Orocuál; el cual está ubicado al sur del cinturón plegado conocido como el frente de deformación de la serranía del interior.

La formación de interés en este proyecto es la Formación Las Piedras; de edad Plioceno; cuya estructura principal corresponde a un monoclinal que tiene una dirección principal noreste-suroeste, con buzamiento suave hacia el Sureste, el cual está interrumpido prácticamente en el centro del campo por la estructura de colapso de Orocuál (“hoyo de Orocuál”).

Asociado a la Estructura de Colapso, hacia el oeste, se encuentra una estructura de Diapiro elongado, en dirección N60°E, el cual define un anticlinal.

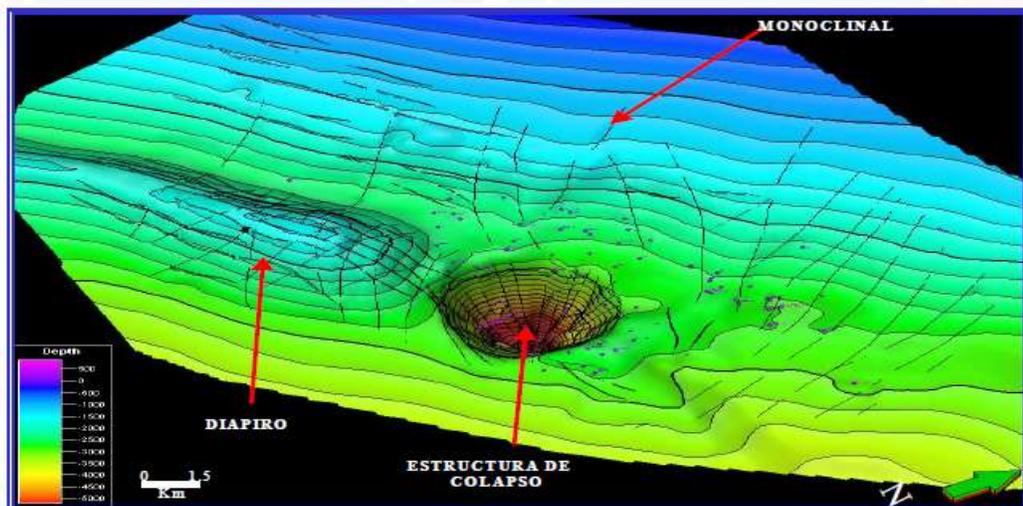


Figura 2.2 Visión 3D de las diferentes estructuras presentes en la Formación Las Piedras

Fuente: Méndez ,2007

La estructura de colapso de Orocuál está representada por un hoyo casi circular, con fallas concéntricas, escalonadas y muy verticales, con desplazamientos entre 100 pies y 1000 pies que lo dividen en bloques diferentes. Dichos bloques se distinguen en muchos casos por el contenido de fluidos y las presiones existentes, evidenciado por los datos de producción de pozos perforados.

La secuencia estratigráfica se inicia con la depositación del grupo Sucre conformado por las Formaciones Barranquin, El Cantil y Chimana; continuando con la Formación Querecual y la Formación San Antonio que conforman el Grupo Guayuta, suprayacente se encuentra la Formación San Juan, la cual representa el final de la secuencia Cretácica; y comienza el Terciario Temprano con las Formaciones Vidoño (Paleoceno) y Caratas (Eoceno) que conforman el Grupo Santa Anita.

Las Formaciones Los Jabillos y Areo (ambas del Grupo Merecure), se depositaron durante el Oligoceno, luego se encuentra la Formación Carapita del Oligoceno Tardío. En contacto discordante con Carapita se presenta la Formación Las Piedras del Plioceno, hacia el Sur del Campo, algunos pozos someros han penetrado la Formación La Pica, la cual se acuña entre la Formación Las Piedras y Carapita. Posteriormente, se depositó la Formación Mesa, del Pleistoceno. El término Las Piedras fue establecido por Hedberg y Sass en un informe privado de la Mene Grande Oil Co. en 1936, quienes describieron la sección tipo original en el Pozo Las Piedras N° 1.

La primera referencia publicada de la Formación Las Piedras es de González de Juana (1946). Hedberg (1950) describió la formación como parte del Grupo Sacacual. Hadley (1956) y De Sisto (1961) describieron los miembros Caicaito y Prespantal, sobre la base de informes inéditos de geólogos de la Mene Grande Oil Co., Salvador (1961) recomendó la adopción del nombre Formación Las Piedras, y el rechazo del término Grupo Sacacual y de las formaciones Algarrobo, Pando y Campo Santo, hasta entonces usadas como correlativas o sinónimos de Las Piedras.

La Formación Las Piedras aflora en la porción septentrional de los estados Anzoátegui y Monagas. En el subsuelo se extiende al este hasta Pedernales, Territorio Delta Amacuro y Golfo de Paria. Hacia el sur, llega a las cercanías del río Orinoco en la faja petrolífera. La sección tipo de la formación tiene 1.005 m de espesor, el cual

aumenta hacia el eje de la subcuenca de Maturín, hasta un máximo probable de 1370 m. Hacia los flancos de la cuenca, el espesor disminuye aproximadamente a la mitad.

En la localidad tipo, la Formación Las Piedras consiste de areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas gris a verdoso, arcillas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos (Hedberg, 1950). También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde. González de Juana (1946, Ortiz E., 1995), la formación se caracteriza por la presencia de arcillas y limolitas blandas, areniscas de granos finos a medios, ocasionalmente conglomeráticas, y capas de lignitos. Es común la presencia de trazas de dolomitas y chert. Unidad de edad Plioceno.

El ambiente de depósito de la Formación Las Piedras fue definido por (González de Juana, 1946) como Fluvio Deltaico a Continental, de edad Pleistoceno, esta Formación es estéril de fósiles, aunque registra restos de plantas. El ambiente varió de un sector continental con depósitos fluviales al norte en la parte emergida de la Serranía a un sector litoral con depósitos de canales de desembocadura y barras litorales más hacia el sur.

Esta formación se caracteriza en general por una secuencia conglomerática, semi-consolidadas, con intercalaciones de arcillas hidratables; las areniscas son cuarzo cristalino a beige, de granos fino a medio, ocasionalmente grueso a conglomerática, cemento silicio. Los cuerpos arcillosos se caracterizan por ser de color verdoso, plásticas, solubles; en parte se observan niveles subordinados de lignito negro hacia la parte superior.

Las arenas de la Formación Las Piedras son productoras de petróleo pesado en los campos de Orocuál, Manresa y Pirital, en el norte del estado Monagas. En el Campo Orocuál, dentro de la estructura de colapso las arenas son productoras de

petróleo liviano, mediano y pesado; fuera de ésta estructura las arenas son productoras de petróleo pesado.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Producción de arena

La producción de arena ocurre cuando las partículas sólidas de la formación se desplazan junto con los fluidos atravesando el pozo hasta llegar a la superficie, ocasionando problemas mayormente de obstrucción durante la vida productiva del pozo. La producción de arena está asociada comúnmente a formaciones donde la cementación natural es muy poca o nula por lo cual los granos de arena se encuentran sueltos o separados produciendo su posterior migración al ser aplicadas fuerzas de arrastre en la producción de los fluidos. (Díaz y Díaz, 2002, p 3)

2.3.2 Origen de la producción de arena

El origen de este problema empieza cuando los esfuerzos desestabilizadores bien sea de arrastre o de gradiente de presión que son aplicados a la formación son mayores que la resistencia mecánica de esta, creando el desprendimiento de los granos de arena por la inestabilidad producida y la cementación natural del área que al encontrarse en un sistema roca-fluido aislado de esfuerzos, al alterar este medio con cañoneos se excede la resistencia total de las rocas provocando fallas en la matriz alrededor de los cañoneos. (Díaz y Díaz, 2002, p 3)

Si el grado de consolidación (cementación intergranular) es bajo, se va a producir la falla de la roca por medio de los esfuerzos del material de sobrecarga y las fuerzas de arrastre asociadas a los fluidos viscosos que se desplazan a través de la

formación. El esfuerzo efectivo es la diferencia del esfuerzo total y la presión del poro, siendo este el que origina la falla en la matriz de la roca.

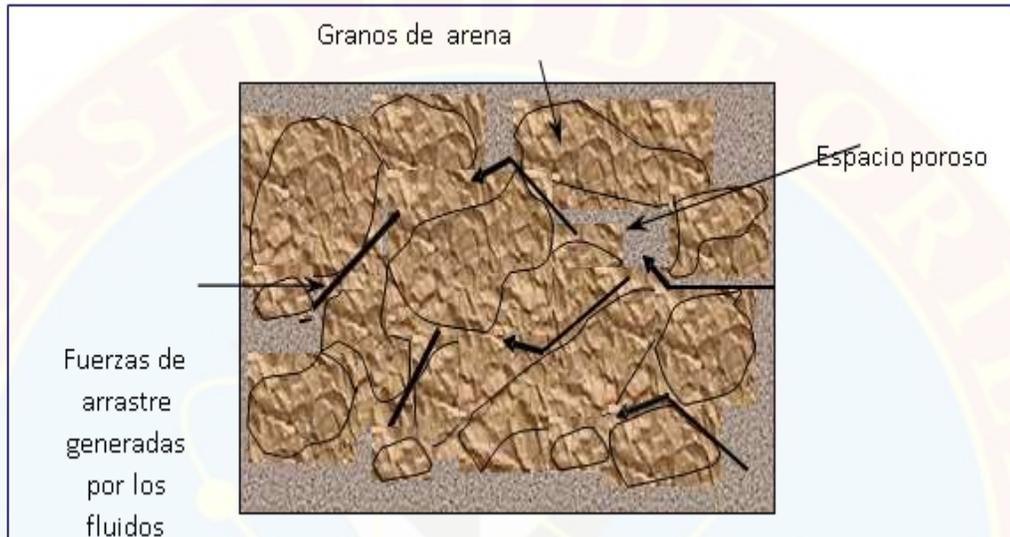


Figura 2.4 Movimiento de los granos de arena causado por esfuerzos desestabilizadores

Fuente: Díaz, 2002

Los factores que involucran la naturaleza del material de la formación que se produce, como las fuerzas que ocasionan la falla en la estructura de la misma:

- Cantidad y tipo de cemento que mantiene la cohesión entre los granos.
- Fuerzas de fricción existentes entre los granos.
- Presión del fluido en los poros de la roca.
- Fuerzas de presión capilar.

2.3.3 Arcos de arena

En algunas ocasiones se forman unos arcos de arena alrededor de las zonas de cañoneos después que inicia la producción de arena y poseen resistencia necesaria

para soportar el peso que se genera por los esfuerzos aplicados. Los arcos de arena son un filtro natural para el desplazamiento de partículas por lo cual la producción de arena sería menor, gracias a estos. Las fuerzas de cohesión entre granos le generan cierta estabilidad a los arcos aunque con el tiempo debido a las variaciones de las tasas de flujo, cortes de agua y presiones del yacimiento, estos tienden a romperse debido a los esfuerzos generados, sin embargo podrían formarse frecuentemente en toda la vida productiva del pozo. (Díaz y Díaz, 2002, p 5)

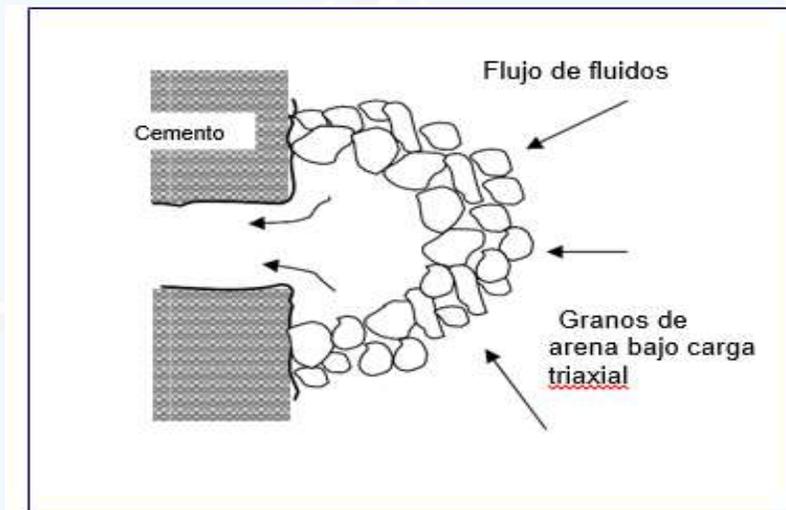


Figura 2.5 Arco estable alrededor de una perforación

Fuente: Díaz, 2002

2.3.4 Clasificación de la producción de arena

Según Correa (2020) la clasificación de la producción de arena es la siguiente:

- **Transitoria.** Hace referencia a los casos en que la producción de arena disminuye con respecto al tiempo y se tiene una caudal de producción de fluido constante. Dicha arena se evidencia cuando se realizan trabajos de limpieza y

acidificaciones en los pozos, lo anterior no afecta de manera exponencial la producción del fluido.

- **Continua.** Esta se evidencia en los pozos con rocas no consolidadas y que no poseen algún tipo de control de sólidos.
- **Catastrófica.** Se cuando existe una producción elevada de los fluidos del yacimiento y por consiguiente se produce arena más de lo normal. Este es el peor de los escenarios ya que puede llegar incluso a una pérdida total del pozo.

2.3.5 Arenamiento

Según Ríos (2013), la producción de pequeñas o grandes partículas de sólido junto con los fluidos que son producidos del yacimiento debido a la baja consolidación de la formación productora. Una medida que el yacimiento descarga petróleo hacia el pozo, con el tiempo se va acumulando arena y sedimento en el fondo del pozo. Esta acumulación puede ser de tal magnitud y altura que puede disminuir drásticamente o impedir completamente la producción del pozo.

2.3.6 Factores que afectan la producción de arena

Según Díaz, (2002), los factores que afectan la producción de arena están asociados a las actividades realizadas en los pozos como perforación, producción completación entre otras, las cuales alteran la resistencia mecánica de la formación y a los esfuerzos desestabilizadores, para estudiar esto es necesario analizar todos los trabajos realizados a los pozos que pueden influir en la resistencia de la formación o en el aumento de las velocidades de los fluidos que crean fuerzas de arrastre excesivas y como consecuencia mayor producción de arena.

Otras actividades que causan problemas de arenamiento son las cementaciones, cañoneos, variaciones en las tasas de bombeo, parada y arranque de pozos y estimulaciones. Principalmente la perforación causa daño a la formación por el grado de penetración, así como los fluidos de perforación crean rupturas en la formación por la carga ejercida y problemas de invasión de lodo en las cercanías del pozo, haciendo que disminuya la permeabilidad en el área, por estas razones las operaciones realizadas en el pozo deben ser mejoradas cada vez más.

La cementación puede crear problemas de arenamiento cuando en ocasiones quedan canales entre el revestidor y la formación pues estos permitirán el flujo excesivo de los fluidos por altas velocidades que generan fuerzas de arrastre que favorecen la producción de arena, además al realizar una mala cementación esto crearía alrededor del pozo poca resistencia que propicia el arenamiento.

Los cañoneos deben ser planificados y ejecutados correctamente para producir cavidades estables en la vida productiva del pozo y esto se puede cumplir tomando en cuenta los parámetros de diseño de dichos cañoneos, tales como: diámetro, longitud, penetración, densidad, ángulo de fase, que deberán ser aplicados en función de las propiedades mecánicas específicas que tenga la formación, para evitar condiciones inestables que favorezcan el fenómeno de arenamiento.

Finalmente, las operaciones de producción influyen en gran medida al problema de arenamiento pues las altas tasas de producción son una de las causas principales para el desplazamiento de arena por las fuerzas de arrastre excesivas debido a las variaciones en la producción en cortos periodos de tiempo, lo que propicia en mayor cantidad la producción de arena.

2.3.7 Causas de la producción de arena

Según Díaz, (2002) las causas de la producción de arena son las siguientes:

a) Flujo de fluidos:

Los esfuerzos que mayormente causan la producción de arena son los que se generan por el flujo de fluidos el cual es proporcional a la caída de presión del yacimiento y el pozo. El desplazamiento de partículas está asociado a las fuerzas que produce el flujo de los fluidos, a la velocidad de esto y la viscosidad que tenga el fluido. Si la arena de la formación es mojada por agua o petróleo esto también puede ser un indicador de producción de arena. La cementación intergranular proporciona restricciones entre los mayores esfuerzos y las tensiones es por esta razón, que la tasa de producción de los pozos y el grado de consolidación en la formación influyen en el problema de arenamiento.

b) Factores geográficos y geológicos:

La producción de arena se ha manifestado en casi todo el mundo dónde la obtención de petróleo o de gas proviene de los yacimientos de areniscas, por lo cual el problema de arenamiento afecta de manera global la industria petrolera. La producción de arena es muy común en los yacimientos de la Edad Terciaria, debido a que estos yacimientos son geológicamente jóvenes y comúnmente se localizan a profundidades relativamente bajas (someras), que no han logrado compactarse y tienen cementación intergranular escasa.

c) Grado de consolidación:

El nivel de cohesión que existe entre los granos de arena es uno de los factores de gran importancia para mantener cavidades de perforación estables. La producción de arena es un problema que suele presentarse con mayor frecuencia en formaciones sedimentarias terciarias que son más superficiales y por lo general más jóvenes, caracterizadas por tener poco material de cementación que mantenga a los granos de arena unidos por lo cual favorece su desprendimiento, estas formaciones suelen clasificarse como "poco consolidadas" o "no consolidadas". Una característica mecánica de la roca que se asocia al grado de consolidación es la resistencia a la compresión. Las formaciones de arenisca poco consolidadas suelen tener una resistencia a la compresión inferior a 1.000 libras por pulgada cuadrada.

d) Reducción de la presión de poro:

La presión del yacimiento que mantiene parte del peso de la roca suprayacente, a medida que se agota la presión del yacimiento a lo largo de la vida productiva de un pozo, la roca va perdiendo este soporte que tenía a consecuencia de los esfuerzos generados por la producción. La disminución de la presión del yacimiento genera un mayor esfuerzo en la arena de formación, lo cual propicia que en un momento determinado de la producción los granos de arena de la formación se separen o se desprendan de la matriz, lo cual generaría finos que se producirán junto con los fluidos del pozo causando el arenamiento.

e) Tasa de producción:

Cuando el yacimiento se encuentra en producción los fluidos generan un diferencial de presión y fuerzas de arrastre friccional que exceden la resistencia a la compresión de la formación, la cual es una causa de desprendimiento de los granos de

arena. Es decir que hay una tasa de flujo crítica por debajo del diferencial de presión y fuerza friccional que no son suficientes para vencer esta resistencia, por lo tanto no se produce arena. La tasa de flujo crítica de un pozo podría determinarse aumentando lentamente la tasa de producción hasta que se detecte producción de arena. Una técnica que se emplea para minimizar la producción de la misma consiste en reducir la tasa de flujo hasta llegar a la tasa de flujo crítica a la cual no se produce arena o el nivel de producción es aceptable.

f) Viscosidad del fluido del yacimiento:

El flujo de fluidos viscosos generan fuerzas de arrastre friccional generalmente mayores que se ejercen sobre los granos de arena para ser arrastrados, esta fuerza se encuentra relacionada a la velocidad que tenga el fluido como a su viscosidad. La fuerza de arrastre friccional sobre los granos de arena de la formación es mayor en el caso de fluidos de yacimiento de elevada viscosidad, en comparación con los de viscosidad baja. La influencia del arrastre por viscosidad induce la producción de arena en yacimientos de crudo pesado, donde se encuentran crudos altamente viscosos de poca gravedad incluso a velocidades de flujo bajas.

g) Aumento de la producción de agua:

Cuando empieza la producción de agua en el yacimiento la producción de arena podría iniciarse, debido a que las areniscas son mojadas en agua, parte de la cohesión existente entre los granos se deriva de la tensión superficial del agua de formación que rodea a cada grano. Al inicio de la producción de agua, el agua de formación tiende a adherirse al agua producida, lo que disminuye las fuerzas de tensión superficial y la cohesión intergranular. La producción de agua afecta severamente la estabilidad del arco de arena que rodea una perforación, lo que da inicio a la producción de arena.

En segundo lugar la producción de agua afecta la producción de arena porque se encuentra asociada a los efectos de la permeabilidad relativa, a medida que aumenta el corte de agua, disminuye la permeabilidad relativa al crudo. Todo aumento del diferencial de presión genera una fuerza de cizallamiento en la zona cercana a la cara de la formación. El aumento de los esfuerzos puede afectar la estabilidad del arco de arena alrededor de cada perforación y, por ende, iniciar el proceso de producción de arena.

2.3.8 Efectos de la producción de arena

De acuerdo a Díaz, (2002). Los efectos de la producción, de arena son casi siempre perjudiciales para la productividad a corto y/o a largo plazo del pozo. Si bien algunos pozos experimentan una producción de arena dentro de límites "manejables", estos pozos constituyen la excepción y no la regla. En la mayoría de los casos, tratar de manejar los efectos de una producción severa de arena a lo largo de la vida del pozo no representa una opción operativa económicamente. Algunos efectos son:

a) Acumulación en los equipos de superficie:

Cuando la velocidad de producción es lo suficientemente rápida para transportar arena hacia arriba por la tubería de producción, esta arena se queda atrapada en el separador, la caldera o la tubería de producción. Si el volumen de arena que permanece atrapada en alguna de estas áreas es suficientemente grande, será necesario efectuar una limpieza para que el pozo pueda producir eficazmente. Con el fin de restablecer la producción, habrá que cerrar el pozo, abrir el equipo de superficie y extraer manualmente la arena. En este caso, no solo deberán considerarse los costos de limpieza, sino también aquellos que genera el diferimiento de la producción.



Figura 2.6 Acumulación en equipos superficiales

Fuente: Ríos, W (2013)

b) Acumulación en el fondo:

Cuando la velocidad de producción no es suficientemente elevada como para arrastrar arena hasta la superficie, ésta queda bloqueada en la tubería de producción o cae y empieza a llenar el interior de la tubería de revestimiento. Tarde o temprano, el intervalo productor podría quedar totalmente cubierto de arena. Cualquiera que sea el caso, la tasa de producción disminuirá hasta que el pozo este totalmente arenado y la producción se detengan. En situaciones como ésta, se requiere adoptar medidas correctivas para limpiar el pozo y restablecer la producción.



Figura 2.7 Acumulación de arena en los equipos.

Fuente: Ríos, W (2013)

c) Erosión del equipo de fondo y de superficie:

En pozos altamente productivos, los fluidos que circulan a gran velocidad y transportan arena pueden erosionar excesivamente tanto el equipo de fondo como el de superficie, lo que implica la necesidad de efectuar trabajos frecuentes de mantenimiento para reemplazar los equipos dañados.



Figura 2.8 Erosión causada por la producción de arena

Fuente: Ríos, W (2013)

d) Colapso de la formación:

Los fluidos producidos podrían arrastrar consigo grandes volúmenes de arena hacia el pozo. Si la velocidad de producción de arena es suficientemente elevada y el proceso se extiende por un lapso largo de tiempo, se desarrollará un vacío detrás de la tubería de revestimiento, el cual continuará ampliándose a medida que se produzca más arena. Cuando el vacío se toma lo suficientemente grande, la lutita suprayacente o la arena de formación que se encuentra por encima de dicho vacío podría colapsar hacia él, debido a la falta de material que proporcione soporte.

Cuando se produce este colapso, los granos de arena se reordenan hasta crear un nivel de permeabilidad inferior al que originalmente existía. Esto resulta especialmente cierto en el caso de una arena de formación que posea un contenido elevado de arcillas o una amplia variedad de tamaños de grano. En una arena de formación que tenga una distribución reducida de tamaños de grano y/o muy poco contenido de arcilla, el reordenamiento de los granos modificará la permeabilidad de una forma que podría resultar menos evidente.

Cuando colapsa la lutita suprayacente, es probable que se pierda totalmente la productividad. El colapso de la formación reviste particular relevancia cuando el material de la misma llena total o parcialmente los túneles de perforación. Incluso una cantidad pequeña de material de formación que llene los túneles de perforación incrementará significativamente la caída de presión a través de la formación cerca del pozo.

2.3.9 Técnicas utilizadas para el control de arena

Díaz (2002), La selección de un método de control de arena depende de varios factores, condiciones específicas del campo, prácticas operativas y factores económicos; los métodos más utilizados para el control de arena son:

- a) Variación de la tasa de flujo.
- b) Completaciones selectivas.
- c) Consolidación plástica.
- d) Sistema grava – resina.
- e) Grava recubierta con resina
- f) Forros ranurados y/o rejillas
- g) Rejillas pre – empacadas.
- h) Rejillas con Empaques con Grava

- i) Frack pack.
- j) Forzamiento arena petróleo.

a) Variación de la tasa de flujo:

Se fundamenta en una reducción de la velocidad en el área cercana a la boca del pozo (en la cara de la arena) mediante la restricción de las tasas de producción, disminuyendo la caída de presión en la cara de la formación. Se reduce o aumenta la tasa de flujo paulatinamente hasta que la producción de arena sea operativamente manejable. Es una técnica de ensayo y error, la cual se basa en la formación de arcos estables en la formación, es necesario repetir eventualmente el procedimiento, a medida que cambian la presión del yacimiento, la tasa de flujo y el corte de agua. La desventaja de esta técnica es que la tasa requerida para mantener un arco estable en la formación suele ser menor al potencial de flujo del pozo y esto representa una pérdida significativa desde el punto de vista de la productividad (Díaz, 2002).

b) Completaciones selectivas:

La técnica consiste en cañonear aquella sección de la formación productora que posea mayor resistencia a la compresión, para así obtener un mayor diferencial de presión que normalmente permitirá tasas y velocidades de producción más elevadas sin que comience la producción de arena. Estas secciones poseen un mayor grado de cementación, pero una menor permeabilidad, por lo tanto, para que esta técnica sea realmente efectiva, la formación debe presentar una buena permeabilidad vertical, con el fin de permitir el drenaje del yacimiento (Díaz, 2002).

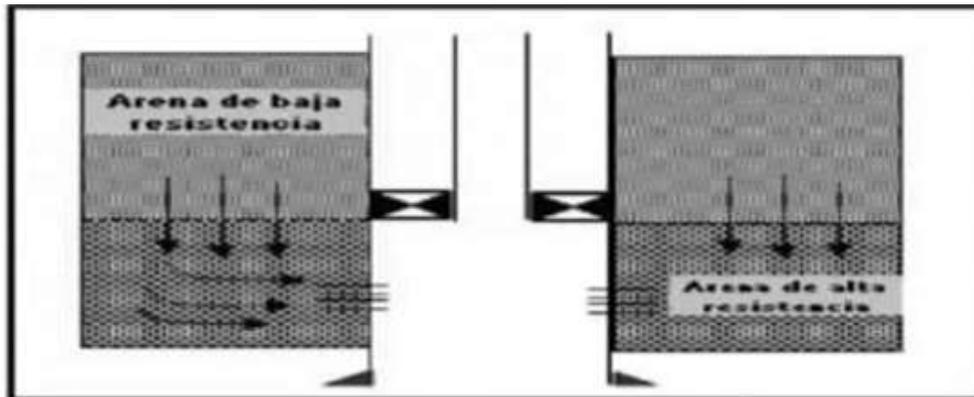


Figura 2.9 Completaciones selectivas

Fuente: Díaz, 2002

c) Consolidación plástica:

El control de arena por consolidación plástica envuelve el proceso de inyectar resina a la formación naturalmente poco consolidada para proporcionar cementación de los granos mientras todavía se mantiene suficiente permeabilidad. De ser exitoso el empleo de esta técnica, el aumento de la resistencia a la compresión de la formación será suficiente para soportar las fuerzas de arrastre generadas mientras se continúa produciendo a las tasas deseadas. Este proceso consiste en la inyección de resinas plásticas, las cuales se adhieren a los granos de arena de la formación. La resina se endurece y forma una masa consolidada, uniendo los granos de arena (Díaz, 2002).

d) Sistema grava – resina:

Este método de control de arena combina la técnica de empaque con grava y la consolidación plástica. La mayoría de los sistemas grava - resina proporcionan esfuerzos de compresión entre los 2000 y 3000 libras de presión y logran mantener la permeabilidad original en un 80% (Díaz, 2002).

Grava recubierta con resina:

Según especificación API, se bombea grava de alta permeabilidad, la cual está recubierta por una capa delgada de resina, dentro del pozo hasta llenar por completo las perforaciones y la tubería de revestimiento. Con la temperatura del fondo del pozo, a través de la inyección de vapor o con un catalizador se endurece la resina y se forma un empaque consolidado. Después que se endurece y ha ganado resistencia a la compresión, la arena consolidada del empaque con grava colocada en la tubería de revestimiento puede ser extraída dejando las perforaciones llenas con la arena consolidada de alta permeabilidad. Los tapones de grava consolidada que queda en las perforaciones actúan como un filtro permeable que proporciona un medio para controlar la arena de la formación durante la producción o inyección (Díaz, 2002).

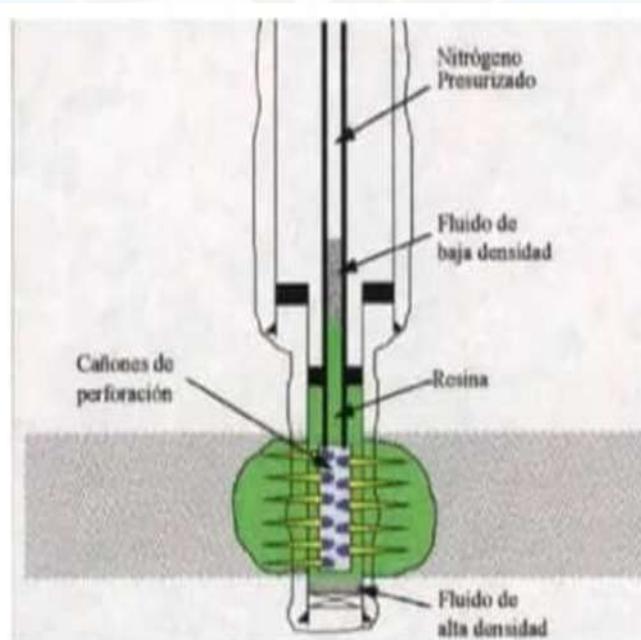


Figura 2.10 Tratamiento con resinas

Fuente: Díaz, 2002

e) Forros ranurados y/o rejillas:

Según (Díaz, 2002) Los "liner" ranurados o rejillas sin empaques con grava, constituyen la manera más sencilla de controlar la producción de arena en pozos horizontales dependiendo lógicamente del grado de consolidación de la arena a producir. Este mecanismo debe emplearse, sólo si se tiene una arena bien distribuida y limpia, con un tamaño de grano grande, porque de lo contrario la rejilla o forro terminará taponándose. Los "liner" y rejillas actúan como filtros de superficie entre la formación y el pozo, puesto que el material de la formación se puentea a la entrada del liner. Los "liner" ranurados y las rejillas previenen la producción de arena basados en el ancho de las ranuras o aperturas para el flujo, denominado también calibre, creando así un filtro que permite la producción de petróleo.

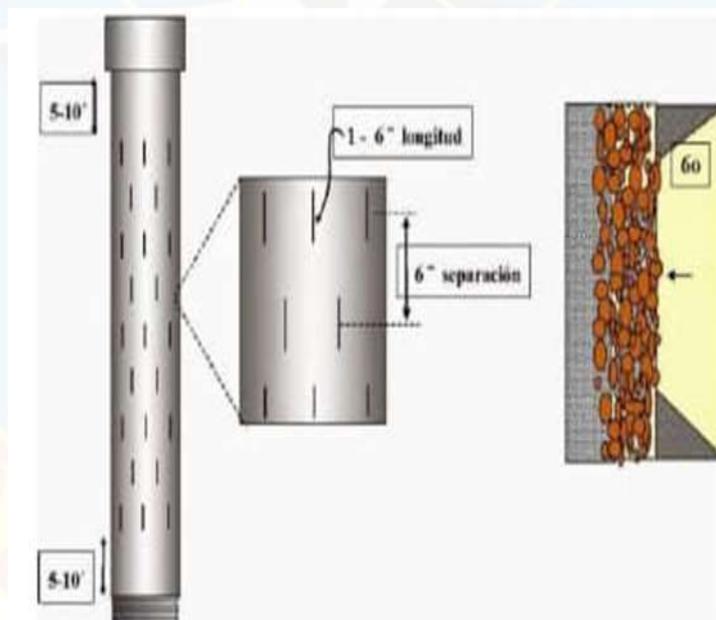


Figura 2.11 Tratamiento con resinas

Fuente: Díaz, 2002

Existen varios criterios para diseñar las aberturas del "liner" ranurado, éstas en algunos casos, se dimensionan de tal manera que su tamaño duplique el diámetro del

grano de arena de formación en el percentil cincuenta de la arena (D50), en otros casos, se diseñan para que su tamaño triplique el percentil diez más pequeño de la arena (D10). Estos criterios de dimensionamiento se derivan de varios estudios, en los cuales se determinó que un grano de arena de formación forma un puente en la abertura de una ranura cuyo tamaño sea dos o tres veces el diámetro del grano, siempre y cuando dos partículas traten de entrar en la ranura al mismo tiempo. Evidentemente, la formación de estos puentes requiere que haya una concentración suficiente de arena de formación que trate de penetrar el "liner" o rejilla al mismo tiempo.

El problema más común y frecuente con la rejilla sola o "liner" ranurado como una técnica de control de arena, es la corrosión de las ranuras antes de que ocurra el puenteo. Por otra parte si los puentes que se han formado no son estables, pueden romperse cuando se cambien las tasas de producción o en los arranques y cierres del pozo. Como consecuencia de la ruptura de los puentes formados, es posible que la arena de la formación se reorganice, lo cual, con el tiempo, tiende a ocasionar la obstrucción de la rejilla o "liner"; es por esto que cuando se utilice esta técnica para controlar arena de formación, debe procurarse que el diámetro del "liner" o rejilla sea lo más grande posible, con el fin de minimizar la magnitud de la reorganización que pueda ocurrir.

Para que un "liner" ranurado o rejilla sea eficaz, generalmente se recomienda su utilización en formaciones de permeabilidad relativamente elevada, que contengan poca o ninguna arcilla, es decir, arenas limpias y cuyos granos de arena sean grandes y estén bien distribuidos, con poca dispersión entre tamaños de granos, es decir, con un coeficiente de uniformidad de la arena bajo, menor a tres. Si la formación presenta suficiente arcilla, los puentes de arena que se forman en el "liner" o en la rejilla podrían obstruirse y si el rango de tamaño de las partículas de arena es amplio, es

posible que el "liner" ranurado o la rejilla se obstruyan con granos de arena durante la formación del puente en el mismo. Díaz, Y (2002).

f) Rejillas pre – empacadas:

Las rejillas pre – empacadas son un filtro de dos-etapas con las envolturas externas e internas de la rejilla que entrapan el medio filtrante. El medio filtrante (típicamente grava) no deja pasar los granos de la formación más pequeños, esta arena actúa como agente puente ante cuando se produce arena de formación mientras que la envoltura exterior de la rejilla filtra los granos de la formación más grandes, las rejillas pre – empacadas se aplican en zonas donde la utilización del empaque con grava es difícil (zonas largas, pozos muy desviados, pozos horizontales y formaciones heterogéneas) (Díaz, 2002).



Figura 2.12 Tipos de rejillas pre-empacadas

Fuente: Ríos, W (2013)

g) Rejillas con Empaques con Grava:

Los empaques con grava constituyen el método de control de arena frecuentemente usado en pozos verticales o desviados en arenas poco consolidadas; son filtros de fondo que previenen la producción no deseada de arena de formación. Consisten en la colocación de grava cuidadosamente seleccionada, que actúa como filtro entre arena de formación y el "liner" o rejilla, es decir, la arena de formación se mantiene en su sitio gracias a la acción de una arena de empaque debidamente dimensionada, la cual será sostenida por una rejilla o "liner" (Díaz, 2002).

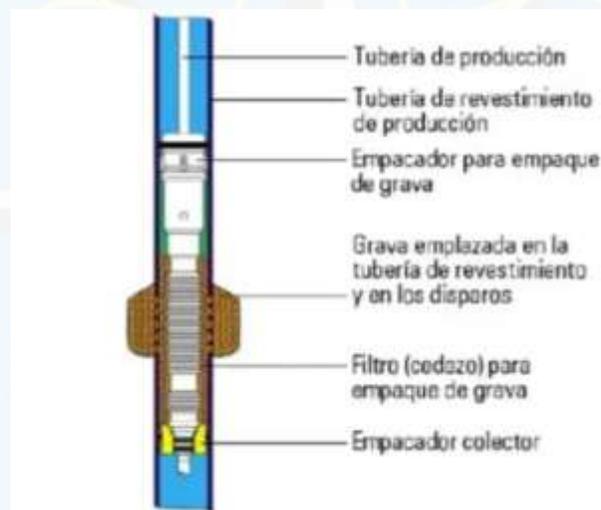


Figura 2.13 Empaque con grava

Fuente: Díaz, 2002

La productividad del pozo está íntimamente relacionada con la selección de la grava de empaque a utilizar, ya que una inadecuada selección del tamaño de grava a utilizar puede permitir que la arena de formación y la grava se mezclen, trayendo como consecuencia un área de baja permeabilidad que disminuye la productividad del pozo. El tamaño de la grava debe ser seleccionado de tal forma que la arena de

formación se puente con poco o ningún movimiento de la arena dentro del empaque de grava.

Una variedad de técnicas son usadas para colocar la rejilla y el "liner" frente a las perforaciones y controlar la colocación de la grava. La escogencia de la técnica más adecuada dependerá de las características particulares del pozo tales como profundidad, espesor del intervalo, presión de la formación, entre otros (Díaz, 2002).

h) Frac Pack:

La técnica Frac Pack se utilizó desde 1970 y consiste en una combinación de las técnicas de fracturamiento y empaque con grava. El forzamiento arena - petróleo (Sand-oil-squeeze, SOS) también puede ser visto como un precursor de la tecnología de FracPack. A mediados de 1980 el uso de fracturamiento de alta conductividad ("Tip Screen-Out", TSO) fue publicado. Esta técnica se basa en una corta y amplia fractura para mejorar su conductividad y fue aplicada en formaciones no consolidadas y carbonato blando (Díaz, 2002).

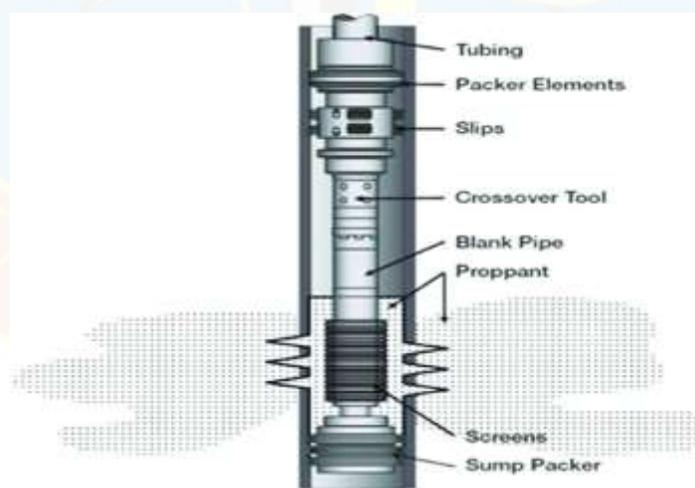
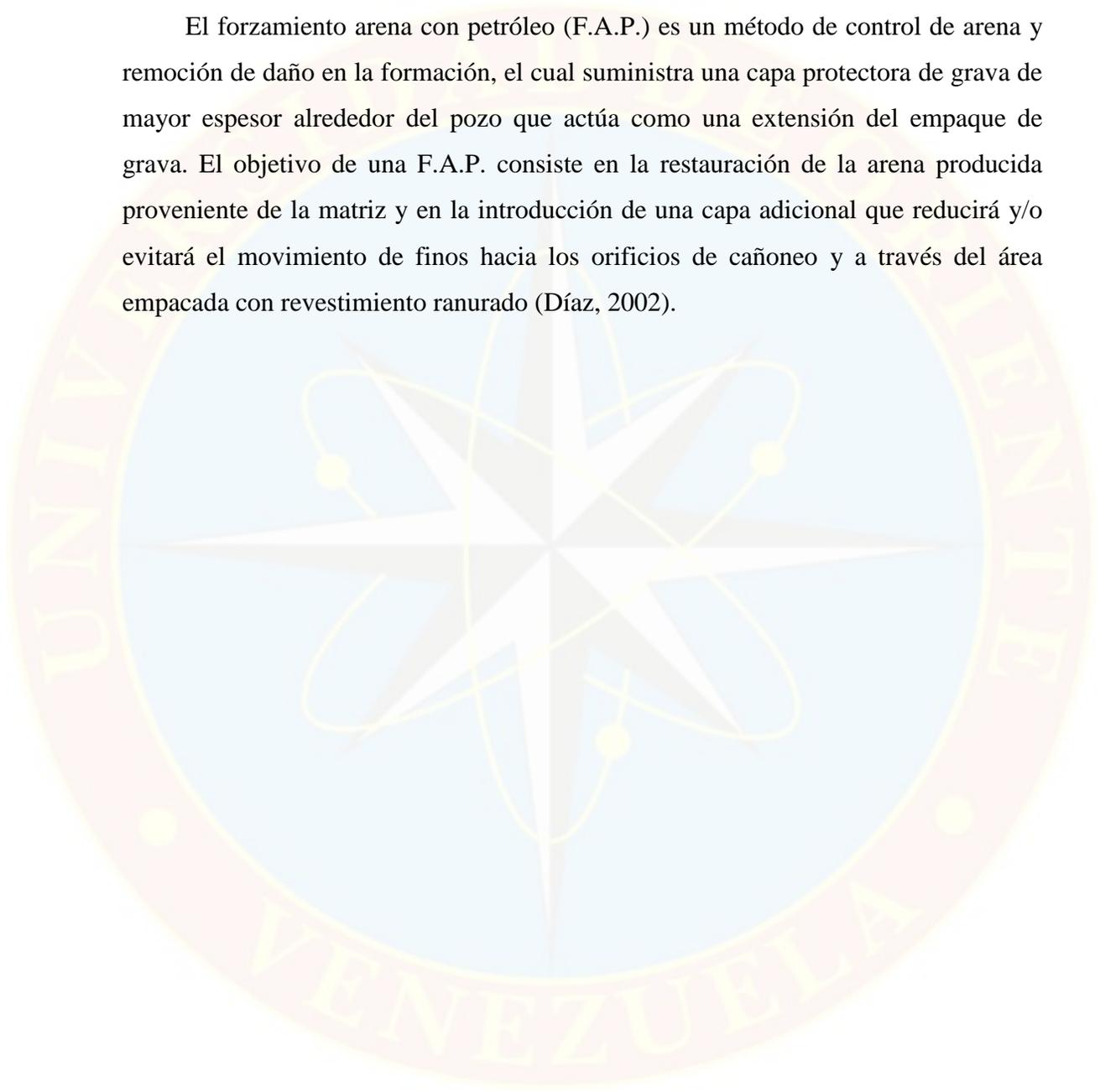


Figura 2.14 Técnica Fracpack

Fuente: Díaz, 2002

i) Forzamiento arena con petróleo:

El forzamiento arena con petróleo (F.A.P.) es un método de control de arena y remoción de daño en la formación, el cual suministra una capa protectora de grava de mayor espesor alrededor del pozo que actúa como una extensión del empaque de grava. El objetivo de una F.A.P. consiste en la restauración de la arena producida proveniente de la matriz y en la introducción de una capa adicional que reducirá y/o evitará el movimiento de finos hacia los orificios de cañoneo y a través del área empacada con revestimiento ranurado (Díaz, 2002).



CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS

3.1 IDENTIFICAR LAS CONDICIONES MECÁNICAS DE LOS POZOS EN ESTUDIO

De acuerdo a la información de eventos a pozos suministrada por la empresa PDVSA para el campo Orocual, área somera, se observó que cuatro (4) de ellos han presentado problemas de arenamiento, OS-80, OS-85, OS-94 y OS-100, de un total de veintinueve (29) pozos, afectando la producción de crudos. Esto debido a que la formación, tiene predominancia de finos, muy finos, y limo. En la tabla 3.1, se presentan los eventos más importantes estudiados en los pozos:

Tabla 3.1 Histórico de eventos en pozos con problemas de arenamiento, Campo Orocual

POZOS	EVENTOS DE POZOS
OS-80	En febrero del año 2008, se inactivo por bako aporte de fluido desde el yacimiento al fondo del pozo, y para enero de 2009, se confirmó arenamiento del pozo del mismo
OS-85	En diciembre del año 2016, el pozo se cerró por no presentar aporte de fluido en superficie. Se realizó prueba de inyectividad, no se observó presurización, por lo que se presume arenamiento. Luego se realizó chequeo mecánico con guaya fina y no avanzó de 3150 pies de profundidad, por lo que se confirma el arenamiento
OS-94	Para marzo del año 2017, se cerró pozo por no presentar aporte de fluidos en superficie, se intentó realizar limpieza y estimulación sin avance, se observó en superficie, retorno de fluido con arena
OS-100	<p>Pozo se encontró sin producción, se intentó arrancar sin éxito</p> <p>Para el 15 de marzo del año 2013, el pozo se encontró sin producción, se intentó arrancar la bomba mecánica de subsuelo, sin éxito. Se intentó limpiar el pozo sin ningún tipo de avance, se observó en superficie retorno de arena</p>

Fuente: Informe PDVSA, 2007

Pozo OS-80

Este pozo se perforó en abril de 2006, hasta una profundidad de 5740 pies (MD), con una inclinación de 89.5°, en la arena R del yacimiento LP OS 04. El diámetro del revestidor de superficie es de 10 3/4 pulgadas, y va hasta una profundidad 1020 pies. El segundo revestidor tiene un diámetro de 9 5/8 pulgadas y va a una profundidad de 3458 pies, en la sección horizontal está completado con, 43 tubos ranurados de 7 pulgadas x 0,015 pulgadas x 0,020 pulgadas de 23 lbs/pie y 10 tubos lisos de 7 pulgadas 23 lbs/pie. Actualmente está completado con tubería punta libre de 4 1/2 pulgadas a 620 pies de profundidad.

En julio del año 2008, este pozo, quedó completado con sistema de bombeo de cavidad progresiva (BCP), en la figura 3.1, se muestra el diagrama del pozo OS-80. La producción del pozo, permaneció estable durante 13 meses, con una producción promedio de 250 BNPD, en febrero de 2008, se observó bajo nivel de fluido (bajo aporte de producción), quedando el pozo inactivo, debido a que se encontró en condiciones críticas de operación, sin aporte de producción. A principio del año 2009, se confirmó arenamiento del pozo, se intentó limpiar, sin embargo, no se logró ningún avance.

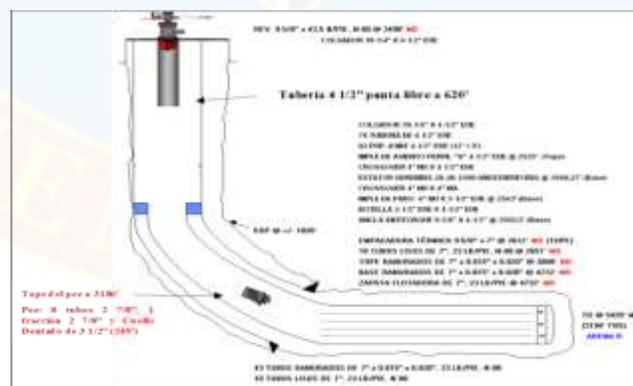


Figura 3.1 Diagrama mecánico pozo OS-80

Fuente: PDVSA, 2007

Pozo OS-85

El pozo OS-85 se perforó en septiembre del 2006, hasta la profundidad final de 4954 pies (MD) (3046 pies), con una sección horizontal 1343 pies en el yacimiento LP OS-4. El revestidor de superficie tiene un diámetro de 13 3/8 pulgada, y va hasta una profundidad 1026 pies. El revestidor de 9 5/8 pulgadas, está a una profundidad de 3611 pies, en la sección horizontal está completado con, 30 tubos ranurados de 7 pulgadas x 0,015 pulgadas x 0,020 pulgadas de 23 lbs/pie y 6 tubos lisos de 7 pulgadas 23 lbs/pie. Completado actualmente con tubería punta libre de 4 1/2 pulgadas a 2956 pies de profundidad.

Fue completado con equipo BCP en su completación original, al momento de su arranque soltó cabillas, ameritando un servicio a pozo con taladro, para el reemplazo de las mismas y de la bomba. El pozo recibió dos (2) ciclos de inyección de vapor, sin embargo, para el segundo ciclo en el año 2011, el pozo se arenó por primera vez, se limpió con tubería continua y se reactivó a producción, sin aportar crudo en superficie. Para principio del año 2017, se realiza una prueba de inyektividad, bombeando 180 bls por revestidor sin retorno, es decir, no se observó presurización, por lo tanto se determina el arenamiento del pozo y se cierra el pozo. Actualmente está completado con 2958 pies de tubería punta libre de 4 1/2 pulgada. En la figura 3.2, se observa el diagrama del pozo OS-85.

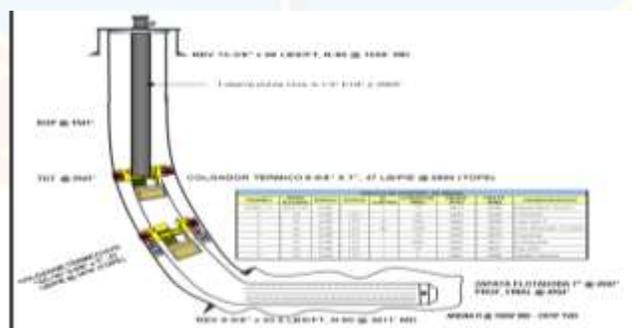


Figura 3.2 Diagrama mecánico pozo OS-85

Fuente: PDVSA, 2007.

Pozo OS-94

El pozo OS-94 se perforó en diciembre del 2006, hasta la profundidad de 3737 pies MD (2820 pies TVD) con una inclinación de 87.07°, encontrándose el tope de la arena objetivo a 2425 pies MD (2817 pies TVD) en la arena R del yacimiento LP OS 4. Sin embargo, durante la perforación de la fase de 12-1/4 pulgadas, se penetró una falla normal a 2997 pies TVD, la cual se esperaba encontrar de 300 a 500 pies al Este del punto donde fue atravesada (estimándose encontrar la arena objetivo a la profundidad de 2802 pies en el bloque levantado), esto ocasionó que el pozo penetrara en el bloque deprimido causando omisión de la arena objetivo (arena R).

En este sentido, se realizó una desviación del pozo, aprovechando el hoyo de la perforación inicial, y buscando la trayectoria correcta para llegar a la arena objetivo (técnica de sidetrack), hasta la profundidad de 5086,57 pies MD (2971,63 TVD) horizontal dentro de la arena R del yacimiento LP OS 4, encontrándose el tope de la misma a 3253 pies MD (2811 pies TVD). Se lograron completar a producción en la arena objetivo 1196 pies de los 1371,7 pies perforados horizontalmente. En julio del año 2007, quedó completado oficialmente con sistema de bombeo de cavidad progresiva (BCP).

El diámetro del revestidor de superficie es de 13 3/8 pulgadas, y va hasta una profundidad 984 pies. El segundo revestidor tiene un diámetro de 9 5/8 pulgadas y va a una profundidad de 3712 pies, en la sección horizontal está completado con, 32 tubos ranurados de 7 pulgadas x 0,015 pulgadas x 0,020 pulgadas de 23 lbs/pie y 7 tubos lisos de 7 pulgadas 23 lbs/pie.

Al final del 2018, se realizó una limpieza con tubería continua de tipo concéntrica, y se observa retorno de fluido marrón oscuro con trazas de crudo y abundante arena. De igual manera, se realizó la limpieza y se completó pozo

nuevamente con bombeo de cavidad progresiva (BCP), sin éxito, ya que al pozo tiempo, el pozo se arenó y no tuvo aporte de fluido. Actualmente está completado con tubería punta libre de 4 ½ pulgadas a 3169 pies de profundidad, esto se puede observar en la figura 3.3.

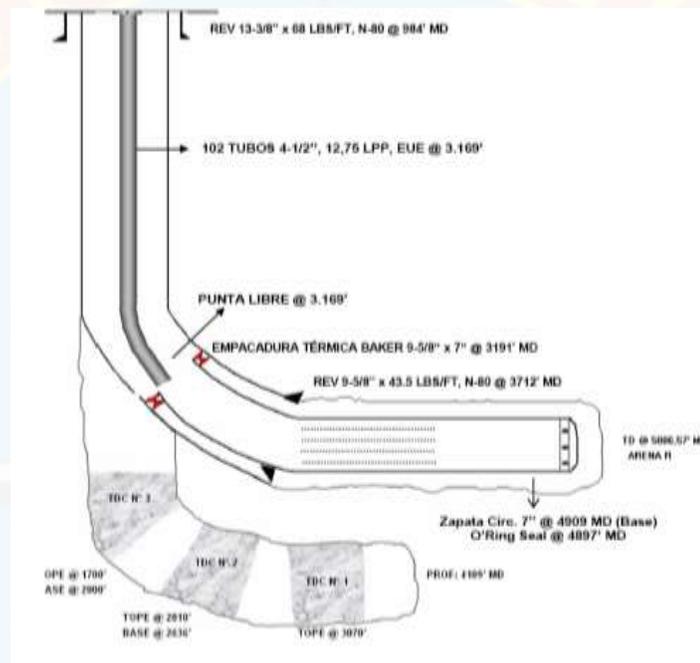


Figura 3.3 Diagrama mecánico pozo OS-94

Fuente: PDVSA, 2007.

Pozo OS-100

El pozo OS-100 se perforó en abr del 2006, hasta la profundidad de 4342 pies (MD) con una inclinación de 65,17°. Durante la operación, se realizó un primer desvío, perforando desde 1102 hasta 1416 pies, observó problemas con la señal del MWD (herramienta para perforar sección horizontal) por interferencia magnética de otro pozo, en este sentido, se realizó sidetrack desde 1290 hasta 1328 pies, y perforó hasta 4342 pies (MD), llegando a la arena T.

Al realizar la revisión de los registros del pozo, se observaron buenas propiedades electrográficas en la arena R, (yacimientos LP OS 4), y se reorientó la perforación del pozo hacia la arena R, realizando un segundo desvío desde 1141 hasta alcanzar una profundidad final de 4616 pies y el tope de la arena a 3232 pies MD. En septiembre del año 2009, se completó originalmente con sistema de BCP, con 1176 pies de sección horizontal en la arena objetivo, de los cuales 860 pies corresponden a tubo ranurado de 7 pulgadas y el resto con tubería lisa.

El diámetro del revestidor de superficie es de 13 3/8 pulgadas, y va hasta una profundidad de 987 pies. El segundo revestidor tiene un diámetro de 9 5/8 pulgadas y va a una profundidad de 3440 pies, en la sección horizontal está completado con, 20 tubos ranurados de 7 pulgadas x 0,015 pulgadas x 0,020 pulgadas de 23 lbs/pie y 5 tubos lisos de 7 pulgadas 23 lbs/pie. Actualmente está completado con tubería punta libre de 4 1/2 pulgadas a 1157 pies de profundidad, el diagrama de completación actual se puede observar en la figura 3.4.

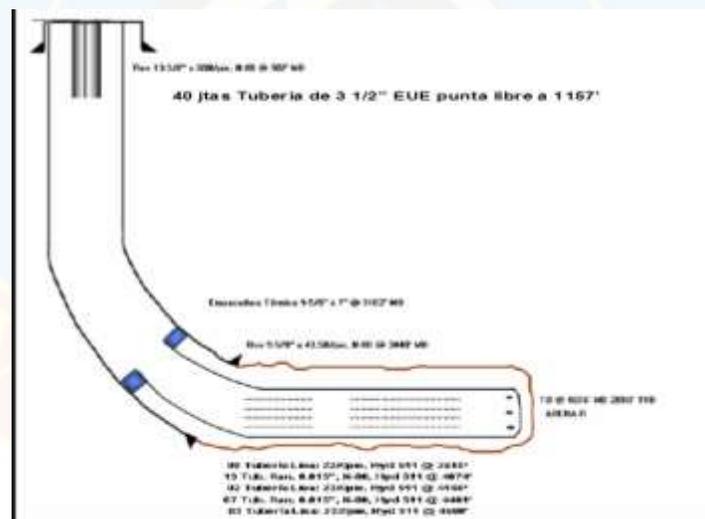


Figura 3.4 Diagrama mecánico pozo OS-100

Fuente: PDVSA, 2007.

3.2 DESCRIBIR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE ARENA EN EL CAMPO OROCUAL

Las características de la producción de arena en formaciones débilmente consolidadas como lo es el campo Orocual, principalmente es que la producción de fluidos casi siempre es acompañada de arena. Esto puede conducir a regímenes de recuperación reducidos, daños de los equipos de superficie y de fondo de pozo, así como a costos de mantenimiento elevados. Siendo el resultado de un proceso de dos etapas, la producción de arena se inicia como consecuencia de los esfuerzos que actúan sobre las rocas de las formaciones provocando rupturas por esfuerzo de corte. Dado que la presión capilar tiende a mantener juntos los granos de arena, el aumento del corte de agua facilita la producción de arena. En la tabla 3.2, se muestran las características de la arena R, de la formación Las Piedras, zona en la cual se ha producido el arenamiento de los pozos.

Tabla 3.2 Características de la arena R, formación Las Piedras, Campo Orocual

POES (oficial):	1318 MMBN	Profundidad Promedio:	2400 Pies
Fr (Oficial) =	10 %	Areniscas pocos consolidadas	
Reservas Recuperables:	131.8 MMBIs		
Producción Acumulada:	17,9 MMBIs		
Reservas Remanentes:	113,9 MMBIs		
%AyS :	0		
API :	10-12°		
Pi=	1295 Lpc		
P(Actual Promedio):	1050 Lpc		
Pb=	1257 Lpc		
Temp.=	117° F		
Formaciones Productoras:	Las piedra Arena R		
H (Pies):	66		
ϕ (%):	29.7 %		
K (md):	388		
Mecanismo de Producción :	Gas en Solución, roca fluido		

Fuente: PDVSA, 2007

Se observó que, los cuatro pozos estudiados, todos se arenaron luego del primer o segundo ciclo de inyección de vapor. En este sentido, y de acuerdo a un estudio realizado por Martínez 2009, la inyección de vapor en los yacimientos de crudos pesados y extrapesados puede afectar la presión de los poros en la formación, lo que a su vez puede influir en el fenómeno de arenamiento en los mismos. Algunos de los posibles mecanismos a través de los cuales la inyección de vapor puede afectar la presión de los poros y contribuir al arenamiento son:

- 1. Compresión de la formación:** la inyección de vapor puede provocar la compresión de la formación, lo que puede aumentar la presión de los poros en ciertas zonas del yacimiento. Esta compresión puede causar una mayor migración de partículas de arena hacia el pozo.
- 2. Cambios en la saturación de fluidos:** la inyección de vapor puede alterar la saturación de fluidos en la formación, lo que a su vez puede afectar la presión de los poros. Cambios en la saturación de fluidos pueden influir en la movilidad de la arena y favorecer su producción hacia el pozo.
- 3. Efectos termo-mecánicos:** La inyección de vapor puede generar efectos termo-mecánicos en la formación, como dilatación térmica, cambios en la permeabilidad, y redistribución de esfuerzos, lo que puede modificar la presión de los poros y contribuir al arenamiento.

De acuerdo a lo observado en este estudio, en la arena R del campo Orocuál, la inyección de vapor tiene un impacto en la presión de los poros en la formación, lo que a su vez puede influir en el fenómeno de arenamiento en los pozos. Es importante, considerar estos efectos al diseñar y operar proyectos de inyección de vapor para minimizar el riesgo de arenamiento y optimizar la producción en yacimientos de crudos pesados y extrapesados.

3.3 PROPONER UNA MATRIZ DE SELECCIÓN QUE PERMITA LA IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO ÓPTIMO PARA EL CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE ARENA EN LOS POZOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL

La selección del método de predicción de arena que se ajusta a las necesidades de los pozos de la formación Las Piedras Campo Orocual, se formuló a partir de una matriz de selección de datos, también conocida como matriz de priorización, que es una técnica de clasificación jerárquica para evaluar proyectos potenciales, problemas, alternativas o soluciones propuestas basadas en un criterio específico o dimensiones de calidad. Se debe realizar una plantilla simple de la matriz para listar el criterio deseado y las alternativas disponibles, y permitirá identificar el método adecuado para calcular la producción de arena en esta área de manera más eficiente y agilizando el proceso de selección, como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3 3 Ejemplo de plantilla de matriz de selección

MATRIZ DE SELECCIÓN			
CRITERIOS	ALTERNATIVAS		
	SOLUCIÓN PROPUESTA A	SOLUCIÓN PROPUESTA B	SOLUCIÓN PROPUESTA C
A. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN			
B. DURACIÓN DE ENTRENAMIENTO			
C. TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN			
D. ALINEACIÓN DE LA ESTRATEGIA			
E. RETORNO DE INVERSIÓN			
PUNTAJE TOTAL			

Fuente: McCain, Cecelia

Posteriormente, se deberán valorar las alternativas contra cada uno de los criterios. Esto puede hacerse recolectando y analizando los datos reales, en el caso de existir, o seleccionando las alternativas a juicio de expertos.

Para la formulación de la matriz de selección del método de predicción de arena ajustado a las necesidades de la formación Las Piedras, Campo Orocuál, se debe recolectar la información relevante relacionada con el proceso de producción de los pozos en estudio.

Luego, se realiza una plantilla, en la cual se plasman los criterios contemplados en cada uno de los métodos de predicción de producción de arena, es decir, todas aquellas variables esenciales que requieren los métodos de predicción de producción para ser aplicados de manera exitosa, los mismos se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Selección de datos para la predicción de producción de arena.

DATOS	CS-80	CS-85	CS-94	CS-100	
PRESIÓN DE PORO (P_r)					
TENSIÓN VERTICAL (C_1)					
TENSIÓN HORIZONTAL (C_2)					
ESFUERZO DE LA FORMACIÓN (C_3)					
PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE CRÍTICA (C_{BHP})					
PRESIÓN DE FONDO (P_W)					
PRESIÓN EN LA CAVIDAD CAÑONEADA (P'_{EC})					
PRESIÓN EN LA VEJIGADA DEL POZO (P'_{W})					
DENSIDAD DEL GAS A P_1 (d_1)					
DENSIDAD DEL GAS A P_2 (d_2)					
ESFUERZO COHESIVO UNITARIO (C_u)					
ÁNGULO DE FRICCIÓN (θ)					
TASA DE PRODUCCIÓN DE ARENA (m)					
ESFUERZO UNIAxIAL COMPRESIVO DE LA RCCA (C_o)					
CAIDA DE PRODUCCIÓN ESTIMADO DE PRODUCCIÓN DE ARENA INTERRADA (C_d)					
ÁREA SUPERFICIAL DE LA CAVIDAD CAÑONEADA (S_c)					
CAUDAL CRÍTICO ESTIMADO (C_o)					
DROWDOWN (DD)					
TASA DE FLUJO TOTAL (Q)					
RADIO DE CAVIDAD CILÍNDRICA DEL CAÑONEO (R_c)					
VELOCIDAD DEL FLUIDO DEL RESERVOIRIO (v)					
RECOSIÓN (DATO NECESARIO)					
PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE (PWF)					
ESFUERZO TOTAL MÍNIMO HORIZONTAL (h)					
PRESIÓN PROMEDIO DE VACUAMIENTO (P)					
ESCALA DE TIEMPO (T)					
RELACION DE POISSON (N)					

Una vez descritas la totalidad de las variables requeridas en los métodos de predicción de arena, se procede a crear una plantilla en la que se discriminan por colores cada uno de los métodos bajo estudio, ver tabla 3.4, de la siguiente manera:

Método de Palmer, en azul: este considera, el efecto de la falla de corte se produce una vez se perfora el pozo la roca de la formación puede responder de dos formas: elásticamente (rocas consolidadas) o cediendo (rocas débiles) en cuyo caso una zona plástica puede desarrollarse en el área cercana al pozo, la formación cede debido a los esfuerzos de corte existentes alrededor del pozo. Una vez que se produce la falla de corte, los sólidos de tamaños grandes y pequeños se generan y la formación comienza a deteriorarse en el plano de falla.

Método de Wingarten, en amarillo: de acuerdo a Correa (2020), este método fue presentado en un artículo en el año 1995, donde se buscaba predecir el comienzo de la producción de arena, el método fue probado en 13 pozos del golfo de México, y permitió identificar las zonas donde es más probable que se presente producción de arena. Estos resultados se obtuvieron gracias a correlaciones de registros y pruebas a núcleos. Todos los pozos analizados presentaban mayormente areniscas, con profundidades que oscilaban entre 4500ft y 15000ft y porosidades entre el 20% y el 40%. Todos los pozos eran productores de gas con una baja producción de agua.

Método de Fjair, en verde: de acuerdo a Correa (2020), el modelo asume que la arena producida proviene de un proceso de erosión de la roca causado por flujo de los fluidos que se encuentran en ella donde la tasa con la que se produce la arena es proporcional a las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre la roca, a su vez proporcional a la caída de presión.

Modelo Y, X, en rosado: se presentan modelos analíticos predictivos del inicio de arenamiento, asumiendo fallas por cizalla o por tensión, lo que ocasiona el arenamiento desde pozos a hueco abierto o desde los cañoneos en un pozo revestido.

Tabla 3.5 Selección de datos para la predicción de producción de arena, de acuerdo al método

DATOS	OS-80	OS-85	OS-94	OS-100
PRESIÓN DE PORO (P_r)				
TENSIÓN VERTICAL (O_1)				
TENSIÓN HORIZONTAL (O_2)				
ESFUERZO DE LA FORMACIÓN (O_Y)				
PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE CRÍTICA (CBHFP)				
PRESIÓN DE FONDO (P_W)				
PRESIÓN EN LA CAVIDAD CAÑONEADA (P'_{RC})				
PRESIÓN EN LA VECINDAD DEL POZO (P'_{W})				
DENSIDAD DEL GAS A P_1 (d_1)				
DENSIDAD DEL GAS A P_2 (d_2)				
ESFUERZO COHESIVO UNITARIO (C_u)				
ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ)				
TASA DE PRODUCCIÓN DE ARENA (m_s)				
ESFUERZO UNIAXIAL COMPRESIVO DE LA ROCA (C_o)				
CAÍDA DE PRODUCCIÓN ESTIMADO DE PRODUCCIÓN DE ARENA INICIADA (C_d)				
ÁREA SUPERFICIAL DE LA CAVIDAD CAÑONEADA (S_c)				
CAUDAL CRÍTICO ESTIMADO (Q_o)				
DROWDOWN (DD)				
TASA DE FLUJO TOTAL (Q)				
RADIO DE CAVIDAD CILINDRICA DEL CAÑONEO (R)				
VISCOSIDAD DEL FLUIDO DEL RESERVORIO (μ)				
EROSIÓN (DATO NECESARIO)				
PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE (PWF)				
ESFUERZO TOTAL MÍNIMO HORIZONTAL (h)				
PRESIÓN PROMEDIO DE YACIMIENTO (P)				
ESCALA DE TIEMPO (T)				
RELACIÓN DE POISSON (N)				

Luego, se debe analizar los datos de la geomecánica de la zona en estudio y clasificar la información con la que cuentan los pozos de acuerdo a la matriz de selección, determinándose un valor porcentual que indica la viabilidad de aplicar el método de predicción de arena que se ajusta a las variables suministradas previamente, es decir, este valor porcentual, indicará en la matriz de selección de datos el cumplimiento de los parámetros necesarios para ejecutar cualquiera de los métodos cuando este corresponda al 100%, es porque corresponde con todos los parámetros.

Finalmente, la matriz de selección de datos arrojará un valor porcentual directamente proporcional a la información suministrada en cada uno de los métodos, aquel que cumpla con el 100% de los parámetros necesarios, automáticamente será vinculado al pozo correspondiente. La matriz se realizó de manera general, considerando todos los métodos de predicción existentes, sin embargo no se aplicó a los pozos de Orocuál por no contar con la información completa de los pozos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Los pozos OS-80, OS-85, OS-94 y OS-100, se arenaron luego de recibir inyección alternada de vapor (IAV).
- La arena R de la formación Las Piedras del Campo Orocuál, tiene presencia de areniscas muy poco consolidadas, de granos finos, a profundidades promedios de 2400 pies y presiones en el orden de 1050 lpc.
- La inyección de vapor en los yacimientos de crudos pesados y extrapesados afecta la presión de los poros en la formación, lo que favorece el arenamiento.
- Se propone una metodología de predicción de producción de arena, mediante una matriz basada en los modelos de predicción existentes: Palmer, Wingarten, Fjair y X Y.

4.2 RECOMENDACIONES

- Recopilar la información geomecánica de los pozos del campo Orocuál y aplicar la matriz de predicción de arenamiento propuesta, para su validación.
- Monitorear constantemente el contenido de sedimentos en los pozos del campo Orocuál.
- Realizar estudio sobre las técnicas de control de arena óptimas para los pozos completados en la arena R de la formación Las Piedras.

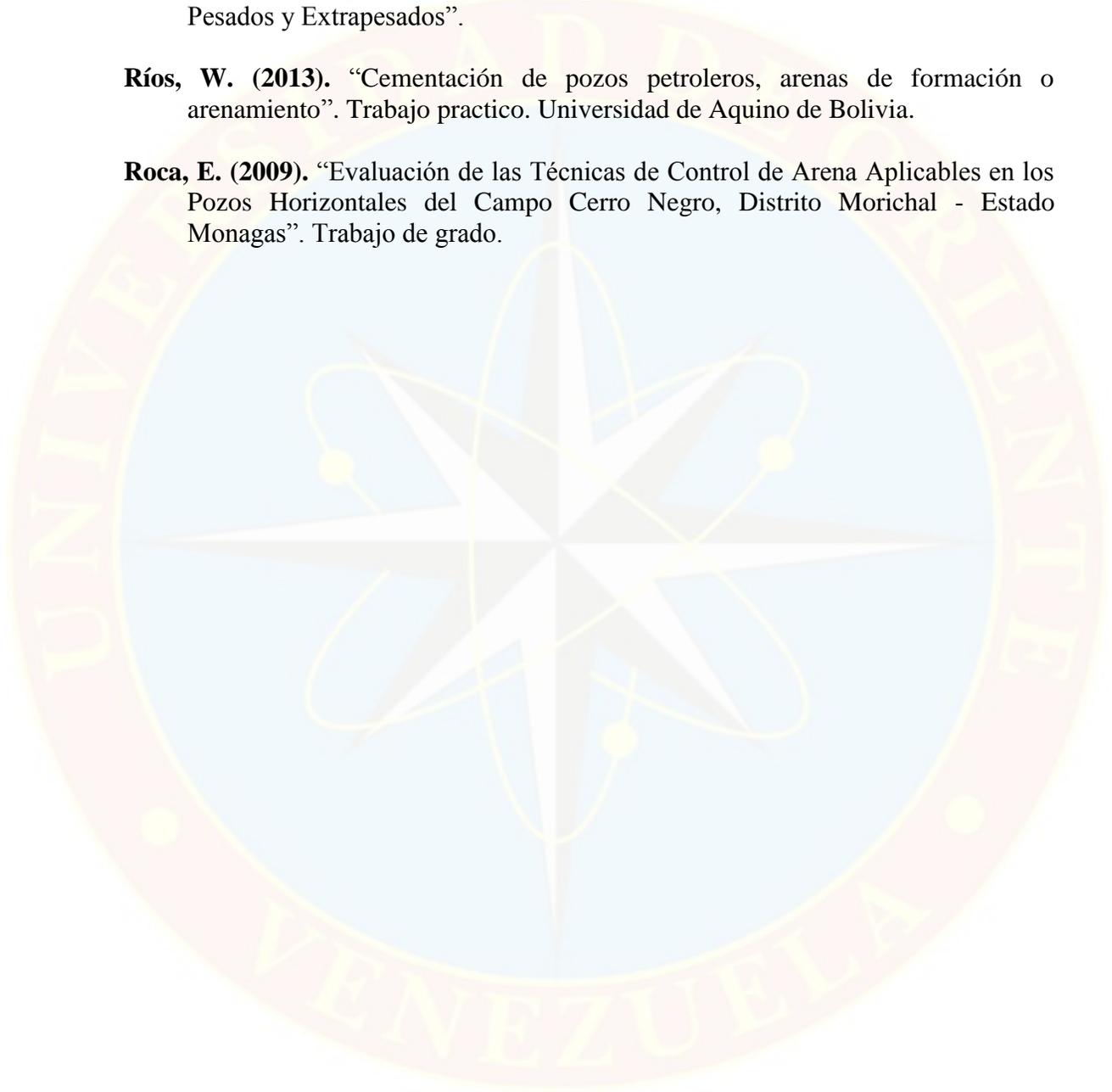
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Brito, Y. (2013).** “Caracterización geológica de la arena “q”, formación las piedras, campo Orocuál - somero, Subcuenca de Maturín, estado Monagas”. Trabajo especial de grado.
- Correa, F (2020).** “Evaluación de la metodología para la predicción de la producción de arena en 3 pozos del bloque esperanza”.
- Díaz, C. Y Díaz, Y (2002).** “Diagnóstico del problema de producción de arena y desarrollo de una metodología para la selección del método más adecuado para su control en el área mayor de socorro”. Trabajo de grado. U.C.V. Facultad de Ingeniería.
- Fernández, M (2010).** Estudio de las causas que provocaron problemas de arenamiento en los pozos del distrito cabrutica, división faja durante el periodo 2001-2009.
- Figuera, J. (2012).** Propuesta de mejoras a los métodos de control de arena de los pozos productores de la arena O-15, yacimiento OFIM CNX-24, campo Cerro Negro.
- García, k., Preciado, G. (2020).** Estudio de nuevas técnicas a nivel de subsuelo desarrolladas para el control y el tratamiento de sólidos de formación.
- Gil, C. (2007).** “Estudio de la optimización de productos químicos durante la perforación en la macolla 1 y 2 en el área Orocuál somero del estado Monagas”. Trabajo de grado.
- Gonzales, E., Ramírez, J. (2016).** Diseño de una metodología de selección preliminar de sistemas de control de arena para los campos operados por Ecopetrol S.A en Colombia.
- Hernández, M. (2016).**Control de arena.
- Limberg, M. (2014).** Control de arena en pozos petroleros.
- Lougon, A. (2006).** Solución de Manejo de Arenamiento en las Cuencas de México.
- Maya, D (2003).**“Análisis de estabilidad de hoyo y predicción de arenamiento en pozos verticales y direccionales en el campo santa rosa, área mayor de anaco”. Trabajo de grado.

Narváez, K., Arasme, O. y Castillo, R. (2010). “Estudio de la Técnica de Control de Arena con Rejillas Expandibles Aplicables a Pozos Productores de Crudos Pesados y Extrapesados”.

Ríos, W. (2013). “Cementación de pozos petroleros, arenas de formación o arenamiento”. Trabajo practico. Universidad de Aquino de Bolivia.

Roca, E. (2009). “Evaluación de las Técnicas de Control de Arena Aplicables en los Pozos Horizontales del Campo Cerro Negro, Distrito Morichal - Estado Monagas”. Trabajo de grado.



HOJAS DE METADATOS

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

Título	Metodología para la predicción de producción de arena en pozos de la formación Las Piedras Campo Orocual
---------------	---

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código ORCID / e-mail	
Carreño Carreño José Nicolás	ORCID	25844464
	e-mail	Josenc1997@gmail.com
Bonett López Joselin José	ORCID	26532268
	e-mail	bonettjoselin@gmail.com

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

Palabras o frases clave:

Producción de arena
Campo Orocual
Matriz de selección
Arenamiento

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

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y ciencias aplicadas	Ingeniería de Petróleo

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

Resumen (Abstract):

La producción de arena ocurre cuando las partículas sólidas de la formación se desplazan junto con los fluidos atravesando el pozo hasta llegar a la superficie, ocasionando problemas mayormente de obstrucción durante la vida productiva del pozo. La producción de arena se asocia a formaciones que poseen poca cementación natural, razón por la cual los granos de arena son arrastrados en la producción de los fluidos. Esta investigación estuvo basado en el estudio de la producción de arena en la Formación Las Piedras, Campo Orocuai, donde se describió detalladamente el área antes mencionada y como es la producción de arena en dicho campo. Posteriormente se identificaron las condiciones mecánicas de cuatro pozos que presentaban arenamiento en dicha área (OS-80, OS-85, OS-94 y OS-100). Finalmente, se propuso un matriz de selección para identificar el método óptimo para el cálculo de la producción de arena en el área mencionada. El resultado obtenido es la proposición de una metodología de predicción de arena, que consiste en una matriz basada en los modelos de predicción existentes (Palmer, Wingarten, Fjair y X Y).

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail		
MSc. Fernández, Ana	ROL	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	ORCID	13915353	
	e-mail	Ayhernandez.udomonagas@gmail.com	
MSc. Espinoza, Martha	ROL	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	ORCID	8369941	
	e-mail	marthaespinoza.udomonagas@gmail.com	
MSc. Calvo, Johangel	ROL	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	ORCID	14939884	
	e-mail	jcalvoudomonagas@gmail.com	
MSc. Calzadilla, Hortensia	ROL	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	ORCID	11781853	
	e-mail	hortensiacarolina@gmail.com	

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

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	07	23

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

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

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOCTG_CCJN.BLJJ2024

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

Alcance:

Espacial: El campo Orocuál está situado a 20 km al Noroeste de la ciudad de Maturín en el distrito Piar del Estado Monagas.

Temporal:

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

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

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

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

Área de Estudio:

Tecnología y ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

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

Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

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

Cordialmente,
[Firma]
JUAN A. BOLANOS CURTEL
Secretario

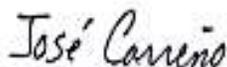
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YOC/manaja

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

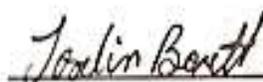
De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

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



Carreño José

Autor



Bonett Joselin

Autora



MSc. Hernández Ana

Asesora