

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**FACTIBILIDAD DE USO DEL DISEÑO DE EMPAQUE CON
GRAVA PARA EL CONTROL DE ARENAS EN LOS POZOS DEL
CAMPO POSA, GOLFO DE PARIA**

Realizado por:

Jesús Rafael Salcedo Zamora
C.I.: V-18.510.976

Asesores:

Ing. Eduardo Romero
Asesor Industrial

Ing. Roberto Salas
Asesor académico

Puerto La Cruz, Noviembre de 2011

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**FACTIBILIDAD DE USO DEL DISEÑO DE EMPAQUE CON
GRAVA PARA EL CONTROL DE ARENAS EN LOS POZOS DEL
CAMPO POSA, GOLFO DE PARIA**

Realizado por:

Jesús Rafael Salcedo Zamora

Trabajo de Grado presentado en La Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al título de:

INGENIERO DE PETRÓLEO

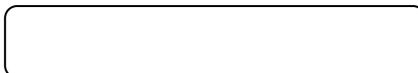
Puerto La Cruz, Noviembre de 2011

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**FACTIBILIDAD DE USO DEL DISEÑO DE EMPAQUE CON
GRAVA PARA EL CONTROL DE ARENAS EN LOS POZOS DEL
CAMPO POSA, GOLFO DE PARIA**

VEREDICTO



Ing. Roberto Salas

Asesor Académico

Ing. Félix Acosta

Jurado Principal

Ing. Rayda Patiño

Jurado Principal

Puerto La Cruz, Noviembre de 2011

RESOLUCIÓN

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

“TODOS LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

DEDICATORIA

A mi **DIOS** todo poderoso por haberme dado la vida! gracias darme las fuerzas y ayudarme a superar cada barrera que pones en mi camino, y por permitirme realizar este anhelado sueño.

A él Ser que más amo en la tierra a mi madre **Haydee Zamora** quien ha estado conmigo en todo momento dándome su amor, apoyo, fortaleza en los buenos y malos momentos , te amooooo mami!

A mi padre querido padre **Jesús Salcedo** que ha sido un espejo para mi, y un mentor en este sueño que he alcanzado! Te quierooo papa.

A mi adorada abuela **Alejandrina Bermúdez (Lea)**, hay abuelita lo logre! Parte de este gran triunfo es tuyo. Te amooooo abuelitaaa!

Al ser especial que ha cambiado mi vida **Marianny Álvarez**, espero que este triunfo sea de inspiración para ti amor, gracias por estar siempre a mi lado en todo momento. Te amooooo muchooo!

A mi compadre **Luis José Gómez**, por haber sido mi compañero y mejor amigo durante toda mi carrera universitaria. Te quiero

A mis compadres y amigos del alma **Nadia y Carlos Brito**, por su apoyo incondicional y siempre estar allí cuando los necesito! Los quierooo.

A mis amigos **Jackelin Azocar, Andrea Mora, Verónica Cedeño, Celia Marín, Elizabeth Leal, Isabel Rodríguez, Orlando rojas**, por todos los buenos momentos vividos. Los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Oriente** por haber sido mi casa de estudio, y a todos Los profesores con quien tuve el placer de compartir, ya que con paciencia y dedicación me brindaron sus conocimientos.

A **Petrolera Paria S.A.**, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo y realizar mi último y más importante requisito para optar por el título de Ingeniero de Petróleo.

Al Ingeniero **Eduardo Romero** por haber sido mentor y asesor industrial.

Al ingeniero **Roberto Salas** por ser mi Asesor Académico, apoyarme y brindarme sus conocimientos, gracias por su valiosa y oportuna colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero **Ramón Pérez** por brindarme la oportunidad de entrar en la empresa.

A los Ingenieros **Edinson Carballo, Deibis López, Yordi Pino** por haberme brindado su amistad y apoyo en esta etapa de mi vida.

RESUMEN

Frente a los requerimientos de control de arena en las áreas operacionales de la corporación, PDVSA E y P Costa Afuera, se ha implementado una metodología integral para el diseño de empaque con grava para pozos con problema de arenamientos en el Campo Posa.

Esta metodología consta de fases que involucran diferentes campos de estudios: 1) el desarrollo de un modelo continuo de grano a lo largo de distintos intervalos de los pozos del Campo Posa (evaluación de la información del yacimiento, granulometría, entre otros); 2) el dimensionamiento del método de control de arena (empaque con grava); 3) revisión histórica de la producción y del desempeño de las completaciones usadas.

El uso de un modelo continuo de tamaño de grano en función de la profundidad permite determinar el dimensionamiento y el desempeño de los medios filtrantes con mayor precisión que las técnicas convencionales, por lo que resulta en una herramienta fundamental para el diseño de la completación de los pozos.

Como resultado de esta metodología se obtiene un abanico de opciones para la completación de los pozos, orientadas a optimizar la producción de arena y la productividad del pozo. Estas completaciones toman en cuenta aspectos como: diseño optimizado del método de control de arena (empaque con grava), entre otros.

En el desarrollo de este trabajo se detallan las fases de esta metodología y se presentan los resultados del Campo en estudio en el Oriente de Venezuela.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
CONTENIDO	viii
LISTAS DE FIGURAS	xiii
LISTAS DE TABLAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO	3
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.....	5
1.2.1 Estructural.....	5
1.2.2 Estratigrafía.....	5
1.2.2.1 Formación Mesa.....	6
1.2.2.2 Formación Las Piedras.....	7
1.2.2.3 Formación La Pica.....	7
1.2.2.4 Formación Carapita.....	7
1.2.3 Sedimentación.....	8
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	11

1.8 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.2 BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1. Producción de arena	13
2.2.1.1 Origen de la producción de arena.....	13
2.2.1.2 Arcos de arena.....	14
2.2.2 Producción de finos.....	15
2.2.3 Geomecánica	16
2.2.4 Factores que afectan la producción de arena.....	16
2.2.5 Causas de la producción de arena	17
2.2.5.1 Flujo de fluidos.	18
2.2.5.2 Factores geográficos y geológicos.	18
2.2.5.3 Grado de consolidación.....	19
2.2.5.4 Reducción de la presión de poro.	19
2.2.5.5 Tasa de producción.	19
2.2.5.6 Viscosidad del fluido del yacimiento.....	19
2.2.5.7 Aumento de la producción de agua.....	20
2.2.6 Efectos de la producción de arena.....	20
2.2.6.1 Acumulación en los equipos de superficie.....	21
2.2.6.2 Acumulación en el fondo.	21
2.2.6.3 Erosión del equipo de fondo y de superficie.....	21
2.2.6.4 Colapso de la formación.	22

2.2.7 Mecanismos que permiten determinar la necesidad de aplicar mecanismo de control de arena	23
2.2.8 Técnicas de control de arena de formación.....	24
2.2.9 Muestras de arena de formación	25
2.2.10 Diseño de empaques con grava.....	26
2.2.10.1 Análisis granulométrico. Método de la “S”	26
2.2.11 Criterios para la selección de la grava.....	27
2.2.11.1 Método de Saucier.	27
2.2.11.2 Método de Schwartz.....	29
2.2.11.3 Método de Hill.	30
2.2.11.4 Método de Coberly.....	30
2.2.11.5 Método de Gumpertz.	30
2.2.11.6 Método de Karpoff.....	30
2.2.11.7 Método de Stein.	31
2.2.12 Criterios de diseño y selección.....	31
2.2.12.1 Criterios de selección de tubería ranurada	31
2.2.12.2 Calidad de grava.....	35
2.2.13 Simulador de yacimientos PIPESIM.....	37
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	39
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.3 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LOS POZOS EXISTENTES DEL CAMPO POSA, DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA FORMACIÓN.....	41

3.4.-ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES DE LOS POZOS EVALUADOS A TRAVES DE LAS PRUEBAS DE POZOS.....	42
3.5.- REALIZAR PRUEBAS DE GRANULOMETRÍA DE LOS NÚCLEOS TOMADOS EN LOS POZOS DEL CAMPO POSA PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE GRAVA A UTILIZAR.	42
3.5.1 Recopilación de Muestras de Núcleos de los distintos Pozos y Análisis con el equipo de Tamizador electrónico.	42
3.5.1.1 Proceso de Selección de Núcleos y Toma de Muestras.	42
3.5.1.2 Procedimiento detallado para el análisis granulométrico a través del tamizado electrónico.	47
3.6.- APLICAR LOS DIFERENTES METODOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS GRAVAS Y REJILLAS.....	48
3.7.- DEFINIR EL MECANISMO DE CONTROL DE ARENAS, ESTUDIANDO LOS DIFERENTES TIPOS DE MECANISMOS DE COMPLETACIÓN.	49
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
4.1 RECOPIRAR DATOS DE LOS POZOS EXISTENTES DEL CAMPO POSA DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	51
4.2 ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES DE LOS POZOS EVALUADOS A TRAVÉS DE LAS PRUEBAS DE POZOS.....	52
4.3.- REALIZAR PRUEBAS DE GRANULOMETRÍA DE LOS NÚCLEOS TOMADOS EN LOS POZOS DEL CAMPO POSA PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE GRAVA A UTILIZAR.	55
4.4.- APLICAR LOS DIFERENTES MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS GRAVAS Y REJILLAS.....	58
4.4.1.- Resultados De Los Análisis De Microscopía Electrónica De Barrido (Meb) Correspondientes Al Campo Posa.....	61

4.5. DEFINIR EL MECANISMO DE CONTROL DE ARENAS, ESTUDIANDO LOS DIFERENTES TIPOS DE MECANISMO DE COMPLETACIÓN.....	64
4.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL EMPAQUE CON GRAVA CON EL SOFTWARE DE YACIMIENTOS (PIPESIM)	65
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
APÉNDICE	71
APÉNDICE A: GRÁFICOS GRANULOMÉTRICOS GENERADOS	¡Error!
Marcador no definido.	
A.1 Gráficos Granulométricos Generados	¡Error! Marcador no definido.
APÉNDICE B: ANÁLISIS NODAL CON SOFTWARE PIPESIM.....	¡Error!
Marcador no definido.	
B.1 Gráficos Generados	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADOS, TESIS Y ASCENSO	80

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación Geológica del Golfo de Paria Este ^[1]	3
Figura 1.2 Bloques estructurales del Campo Posa ^[1]	4
Figura 1.3 Ubicación del Campo Posa ^[1]	4
Figura 1.4 Columna Estratigráfica del área Posa ^[1]	6
Figura 2.1 Movimiento de los granos de arena causados por esfuerzos desestabilizadores.....	14
Figura 2.2 Arco estable alrededor de una perforación ^[5]	15
Figura 2.3 Falla de rejilla por erosión causada por la arena de formación ^[5]	22
Figura 2.4 Distribución granulométrica de la arena de formación ^[5]	27
Figura 2.5 Resultados de pruebas de Saucier ^[5]	28
Figura 2.6 Geometría de las ranuras de las tuberías ranuradas ^[5]	32
Figura 2.7 Forma de las ranuras ^[5]	33
Figura 2.8 Esfericidad y redondez por Krumbein y Sloss ^[2]	36
Figura 3.1 Mesa de Despliegue de la Núcleoteca Intevep.....	45
Figura 3.2 Cajas Contenedoras de Núcleos.....	46
Figura 3.3 Identificación de las Cajas Contentivas de los Núcleos.....	46
Figura 3.4 Toma de muestra de los Núcleos.....	47
Figura 3.5 Muestras de los Núcleos debidamente Identificadas.....	47
Figura 3.6.- Clasificación de los mecanismos de control de arenas en función de las edades geológicas.....	49
Figura 4.1 Comportamiento productivo del pozo 112-1.....	54
Figura 4.2 Comportamiento productivo del pozo 117-2.....	54
Figura 4.3 Distribución granulométrica para el pozo 112-1 (1089’-1097’) del Campo Posa.....	56
Figura 4.4 Distribución granulométrica para el pozo 112-1 (4069’-4077’) del Campo Posa.....	56
Figura 4.5 Diagrama Mecánico del Pozo Posa 112-1, Empacado con Grava.....	64
Figura 4.6 Caída de presión del pozo 112-1 sin empaque con grava.....	65

Figura 4.7 Caída de presión del pozo 112-1 con empaque con grava.....	66
Figura A.1 Distribución Granulométrica del pozo Posa 40-1 (2100'-2600')....	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.2 Distribución Granulométrica del pozo Posa 40-1 (3500'-4010')....	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.3 Distribución Granulométrica del pozo Posa 40-1 (4010'-4400')....	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.4 Distribución Granulométrica del pozo Posa 117-1 (2880'-3000')..	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.5 Distribución Granulométrica del pozo Posa 117-1 (3960'-4500')..	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.6 Distribución Granulométrica del pozo Posa 117-1 (4500'-4950')..	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.7 Distribución Granulométrica del pozo Posa 117-1 (5730'-5830')..	¡Error! Marcador no definido.
Figura A.8 Distribución Granulométrica del pozo Posa 117-1 (6000'-6210')..	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.1 Caída de Presión del pozo 112-1 Empacado con Grava;	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.2 Caída de Presión del pozo 112-1 Sin Empaque con Grava.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.3 Análisis nodal con Tubing de 3 ½" Pozo 112-1 Sin Empaque con Grava	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.4 Análisis nodal con Tubing de 4 ½" Pozo 112-1 Sin Empaque con Grava	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.5 Análisis nodal con Tubing de 5 ½" Pozo 112-1 Sin Empaque con Grava	¡Error! Marcador no definido.
Figura B.6 Análisis nodal con Tubing de 3 ½" Pozo 112-1 Con Empaque con Grava	¡Error! Marcador no definido.

Figura B.7 Análisis nodal con Tubing de 4 ½" Pozo 112-1 Con Empaque con Grava
.....;Error! Marcador no definido.

Figura B.8 Análisis nodal con Tubing de 5 ½" Pozo 112-1 Con Empaque con Grava
.....;Error! Marcador no definido.

LISTAS DE TABLAS

Tabla 2.1 Gravas Comerciales ^[3]	29
Tabla 2.2 Características de las ranuras ^[5]	33
Tabla 3.1 Muestra seleccionada para el estudio.....	41
Tabla 3.2 Intervalos de pozos desplegados en la Nucleoteca de Intevep.....	44
Tabla 4.1 Problemas operacionales de los pozos del Campo Posa.....	52
Tabla 4.2 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 112-1 en sus diferentes intervalos.....	56
Tabla 4.3 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 117-1 en sus diferentes intervalos.....	57
Tabla 4.4 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 40-1 en sus diferentes intervalos.....	57
Tabla 4.5 Resultados de los diferentes tamaños de grava del pozo 112-1 en sus diferentes intervalos	58
Tabla 4.6 Resultados de los tamaños de grava del pozo 40-1 en sus diferentes intervalos.....	59
Tabla 4.7 Resultados de los tamaños de grava del pozo 117-1 en sus diferentes intervalos.....	59
Tabla 4.8 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 112-1.....	59
Tabla 4.9 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 40-1.....	60
Tabla 4.10 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 117-1.....	60
Tabla 4.11 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1	61
Tabla 4.12 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1	61
Tabla 4.13 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1	61
Tabla 4.14 Distribución granulométrica para el pozo del Campo Posa por Microscopía Electrónica de Barrido	61
Tabla 4.15 Tamaños de grava por microscopía de electrónica barrido.....	62

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, PDVSA ha asumido estrategias de explotación y producción de las reservas de hidrocarburos venezolanas que garantizaran una productividad eficiente y óptima, para así satisfacer la demanda energética nacional y las exportaciones a nivel internacional.

La producción de arena es uno de los problemas más antiguos de los campos petroleros de Venezuela. El arenamiento de los pozos tiene como consecuencias de gran magnitud, tales como restricciones severas en los niveles de producción, el aumento de los costos de mantenimiento tanto de superficie como de subsuelo y hasta la pérdida de los pozos.

Por esta razón, se hace necesario el desarrollo de un estudio basado en la factibilidad de uso del diseño de empaque con grava para el control de arena de los pozos del Campo Posa, donde se contempló una metodología integral de trabajo que abarque diferentes disciplinas y las nuevas tecnologías disponibles en el mercado.

En este trabajo se presenta una metodología integral para estudiar la aplicabilidad de los empaques con grava como mecanismo de control de arena. Esta metodología fue desarrollada en conjunto por PDVSA Petrolera Paria, la cual podría ser implementada en el Campo Posa en el oriente del país.

La metodología contempla una revisión de la información del yacimiento, de las condiciones operativas del pozo, de su rendimiento y de los métodos de completación usados en el campo. Como resultado se identifican los principales factores que inciden en la producción de arena y se determinan las opciones de control de arena más apropiadas según las características del campo.

La metodología se encuentra estructuradas en varias fases: 1) Revisión y evaluación de la información del yacimiento (análisis granulométricos, sedimentología, entre otros), 2) Verificación de los métodos de control de arena (revisión histórica de la producción y del desempeño de las completaciones usadas).

El estudio comienza con la selección del yacimiento y de los pozos a estudiar; pozos de los cuales se extrae información de núcleos, sedimentología, historias de producción, técnicas de control de arena aplicadas previamente en el área y cualquier otra información referente a los problemas de producción de arena presentes en el campo.

Dentro de la fase de revisión del yacimiento, incluye el estudio sedimentológico de los pozos y la distribución de tamaño de grano.

En la última fase se realiza la revisión histórica de la producción y del desempeño de las completaciones usadas anteriormente en el campo de estudio.

Finalmente, tomando en cuenta toda la información adquirida y los resultados de los diferentes estudios realizados, se procede a diseñar el mecanismo de control de arena y generar las conclusiones y recomendaciones de carácter operativo.



CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El Golfo de Paria posee una superficie de 7.500 km², se encuentra localizado al Noreste de Venezuela en el área de Costa Afuera, se comunica por el Norte con el Mar Caribe y al Suroeste del Océano atlántico, y en él se encuentra ubicado el Campo Posa, el cual tiene una extensión de 124 km² (**Figura 1.1**).

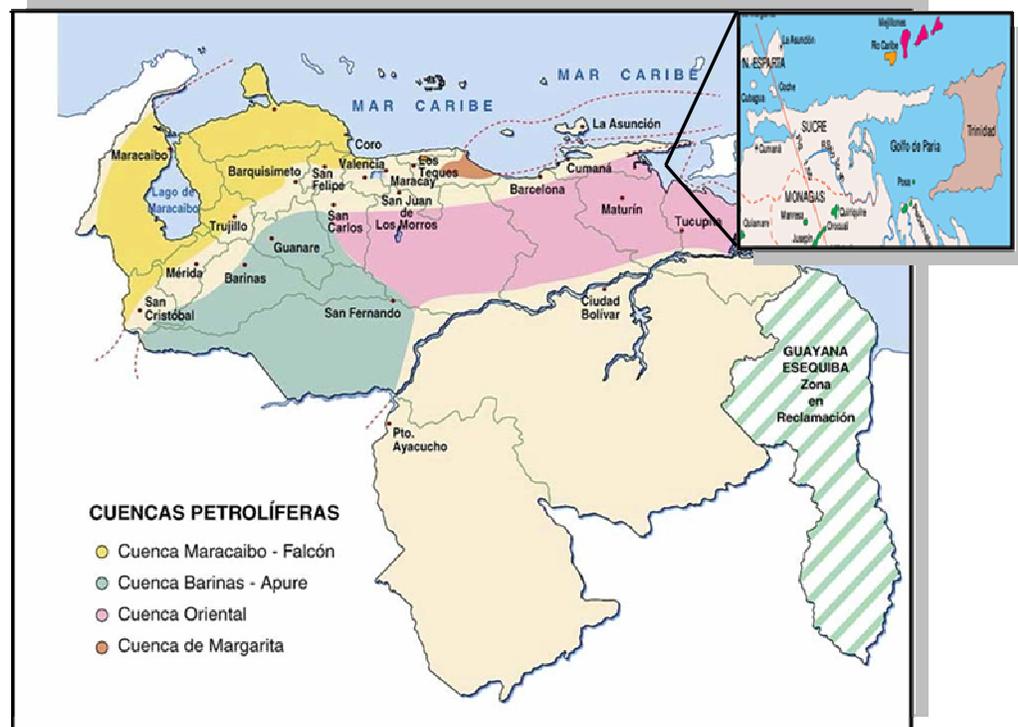


Figura 1.1 Ubicación Geológica del Golfo de Paria Este ^[1].

Está conformado por 5 bloques estructurales tales como: 112-1, 113-2, 115-1, Bloque Norte y el Bloque Morro (**Figura 1.2**).

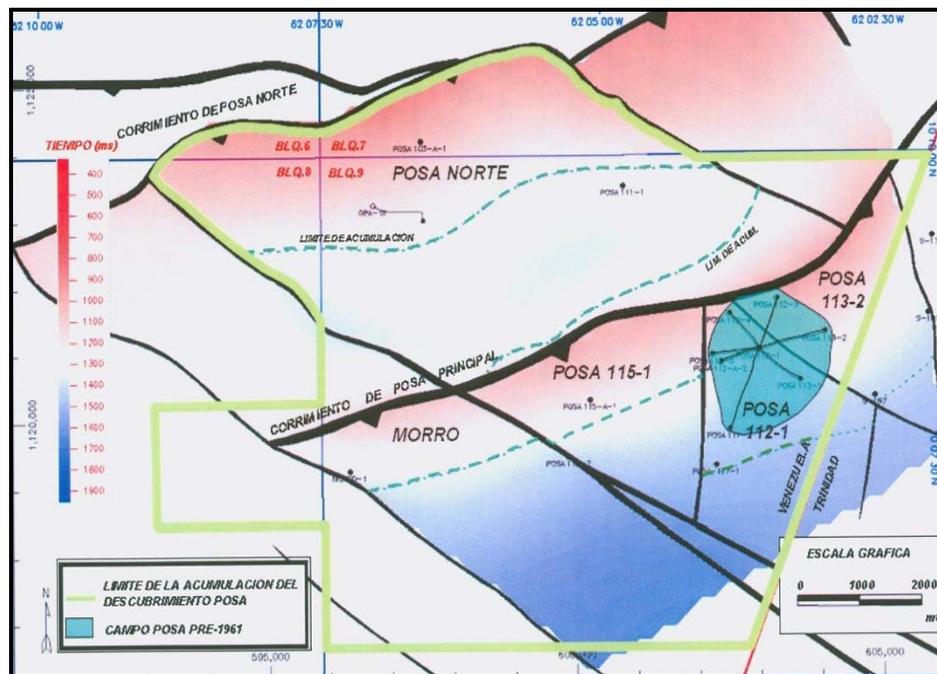


Figura 1.2 Bloques estructurales del Campo Posa ^[1].

El área donde se ubica el denominado “Campo Posa”, comprende las regiones Monagas, Sucre y Delta Amacuro y consta de un área de 131.2 Km², está ubicado en el golfo de Paria Este, a 25 Km de la Costa de Trinidad y Tobago (Figura 1.3).

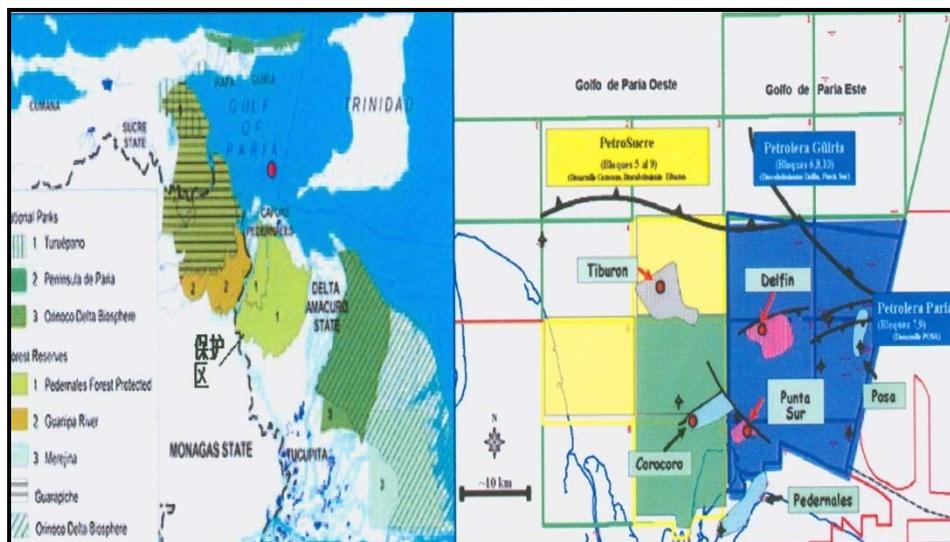


Figura 1.3 Ubicación del Campo Posa ^[1].



El área de Posa posee un total de 25 pozos perforados en el para el año 1958, los cuales en la actualidad se encuentran abandonados, todos estos pozos se encuentran distribuidos en los diferentes bloques del campo.

1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

1.2.1 Estructural

El área de Posa posee flancos de estructuras anticlinales paralelas orientadas en sentido oeste-este y limitadas al norte por fallas de corrimiento. Está asociada desde el punto de vista estructural, a la culminación de la etapa mayor compresiva de edad pleistoceno temprano a medio, producto del continuo movimiento de la placa del Caribe con respecto a la placa del Suramérica durante la fase de margen activo de la Cuenca Oriental de Venezuela y su extensión hacia Trinidad y Tobago.

1.2.2 Estratigrafía

La columna estratigráfica del área Posa está constituida por las formaciones Mesa, Las Piedras, La Pica, Carapita. Siendo las formaciones Las Piedras y La Pica las principales productoras (**Figura 1.4**)

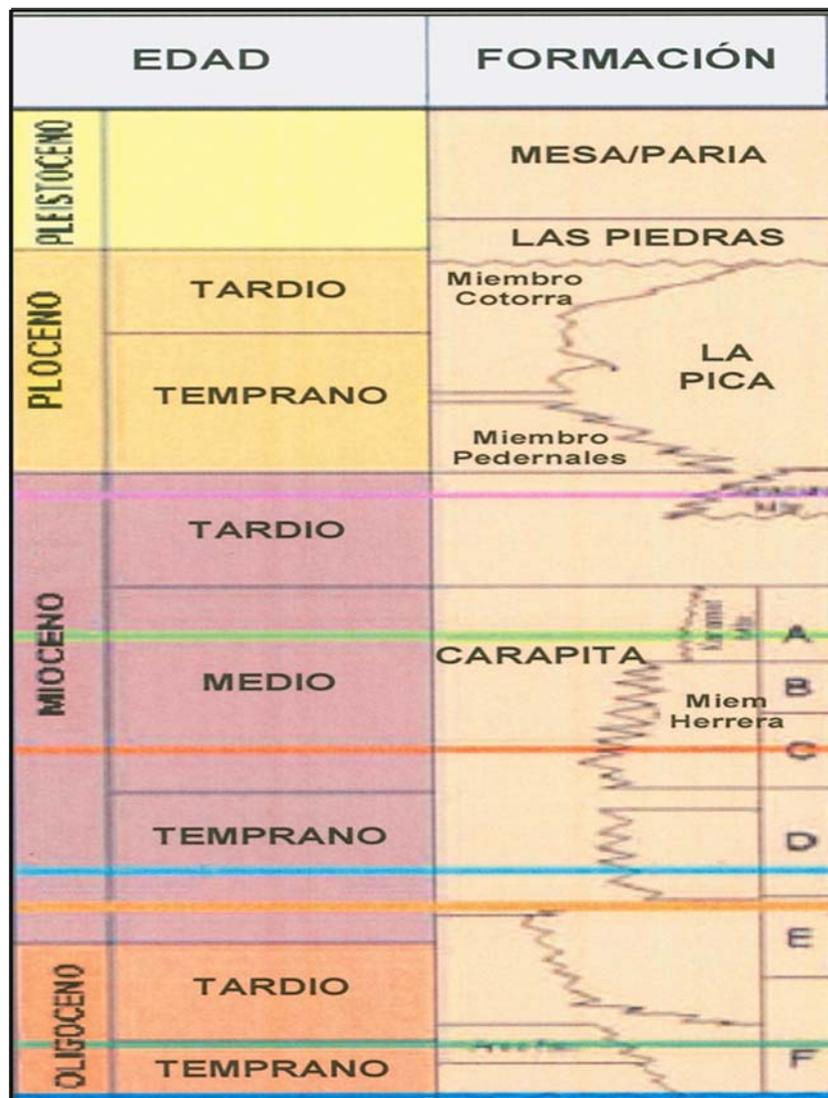


Figura 1.4 Columna Estratigráfica del área Posa ^[1].

Descripción litológica de las formaciones del área Posa:

1.2.2.1 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. Esta sección descansa en forma transicional sobre la Formación Las Piedras y su espesor es de un máximo de 180 pies. Consta básicamente de estratos prácticamente horizontales con pequeñas inclinaciones, es consideradas de edad pleistoceno, debido a su posición discordante sobre la formación Las piedras del Plioceno. Está formada por arcillas solubles de color rojizo, crema y grisáceos, alternando hacia la base con areniscas de grano grueso, guijarros, peñas y peñones.

1.2.2.2 Formación Las Piedras

Su edad data del plioceno y se presenta a lo largo de la Cuenca Oriental de Venezuela, Con espesor máximo de 5.000 pies. Esta unidad se caracteriza litológicamente por la presencia de sedimentos poco consolidados que incluye una zona basal conglomerática. Los ambientes sedimentarios se caracterizan por sistemas de canales fluviales, superficies de inundación y sistemas deltaicos a marinos someros.

1.2.2.3 Formación La Pica

La formación La Pica, de edad Mioceno Tardío a Plioceno Temprano, con un espesor que varía entre aproximadamente 3.200 y 4.700 pies, en sentido oeste-este.

1.2.2.4 Formación Carapita

La Formación Carapita de edad Mioceno inferior a medio, con facies de mar abierto y con probables influencias de corrientes turbidíticas, está compuesta de lutitas, con limolitas y algunas areniscas de granos muy finos, que se depositaron en capas eocenas de la formación de Cataratas.



1.2.3 Sedimentación

Los yacimientos descubiertos, están genéticamente relacionadas al formar parte de un mismo proceso sedimentológico, tectónico, de migración y entrapamiento.

Las rocas que constituyen los yacimientos de hidrocarburos del area Posa, están asociadas al sistema sedimentarios del “Proto-Orinoco”, son principales las arenas fluvio-deltaicas de relleno de canales y de valles incisos del Miembro Pedernales de la formación La Pica, y los depósitos arenosos fluvio-deltaicos a marinos somero del Miembro Cotorra de la formación La Pica y de la formación Las Piedras.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Golfo de Paria posee una superficie de 7.500 km², se encuentra localizado al Noreste de Venezuela en el área de Costa Afuera, se comunica por el Norte con el Mar Caribe y al Suroeste del Océano Atlántico, y en él se encuentre ubicada el Campo Posa, el cual tiene una extensión de 124 km² y está conformado por 5 bloques estructurales tales como: 112-1, 113-2, 115-1, Bloque Norte y el Bloque Morro.

A finales de los años 50 y principio de los años 60, en el Golfo de Paria se ejecutaron una serie de perforaciones de diferentes pozos, dentro de los distintos bloques que conforman el área, con la finalidad de adquirir información geológica y de yacimiento.

Durante la evaluación y prueba de pozos realizadas en el campo, se ejecutaron una serie de pruebas de producción en las arenas prospectivas correspondientes a las formaciones La Pica y Las Piedras respectivamente, con la finalidad de delimitar el yacimiento y medir el índice productividad de las mismas.



Debido a las características poco consolidadas de las arenas productoras se presentaron problemas operacionales durante las pruebas de producción que limitaron el tiempo de evaluación del yacimiento, originando arenamientos prematuros de los pozos. Cabe destacar que en ninguno de los pozos del campo se emplearon equipos o métodos para el control de arena, que mitigaran de una u otra manera los problemas mencionados durante las pruebas extendidas de flujo.

En la actualidad uno de los requerimientos de la Empresa Mixta Petrolera Paria es poner en marcha la producción del campo, para generar el primer barril de crudo como proyecto país, para lo cual es necesario realizar un estudio completo de las condiciones de subsuelo a través de muestras de pared, pruebas granulométricas de los núcleos, pruebas de producción y medidas de presión de fondo con miras a tener un marco de referencia que permita estudiar la aplicabilidad del empaque con grava y rejilla como mecanismo de control de arena en los pozos del campo Posa como alternativa operacional a la problemática existente.

En la medida que se logre controlar dicha problemática se logrará cumplir las metas planteadas, enmarcadas dentro del plan de explotación de la empresa. Tomando en cuenta siempre: La seguridad, el ambiente y las difíciles condiciones de subsuelo.

Debido a las características de las zonas a explotar y a los compromisos de producción adquiridos, se debe realizar el mejor diseño de completación posible, garantizando la producción de petróleo, integrando el sistema yacimiento/pozo logrando así el éxito del proyecto.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la aplicabilidad de los empaques con grava como mecanismo de control de arena en los pozos del Campo Posa.



1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Recopilar datos de los pozos existentes del campo Posa, de acuerdo a las características geológicas de las formaciones.
- II. Estudiar los problemas operacionales de los pozos evaluados a través de las pruebas de pozos.
- III. Realizar pruebas de granulometría de los núcleos tomados en los pozos del Campo Posa para determinar el tamaño de grava a utilizar.
- IV. Aplicar los diferentes métodos para la selección de los diámetros de las gravas y rejillas.
- V. Definir el mecanismo de control de arenas, estudiando los diferentes tipos de mecanismo de completación.

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación para realizar esta investigación radica que en la actualidad uno de los requerimientos de la Empresa Mixta Petrolera Paria, es poner en marcha la producción del Campo Posa para generar el primer barril de crudo del área, para lo cual es necesario realizar un análisis de las condiciones del área.

El segundo aspecto que se debe considerar es desde el punto de vista de costos. Si durante la producción de un pozo se genera daño a la formación por arenamiento del mismo, es muy probable que se haga necesario aplicarle un mecanismo de control de arena para tratar de llevar la producción a los niveles esperados.



Por las razones anteriores, es necesario generar un estudio que permita estudiar la aplicabilidad del empaque con grava como mecanismo del control de arena para los pozos del Campo Posa.

1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se enfoca en estudiar la aplicabilidad del empaque con grava como mecanismo de control de arena de los pozos del Campo Posa, Golfo de Paria, mediante la aplicación de la prueba de análisis granulométricos a núcleos y muestra de canal pertenecientes a dichas arena con el fin de generar una distribución de los tamaños de granos por arena que se localizan en esta zona para facilitar la selección de los tamaños de gravas y rejillas requerido durante las operaciones de campo buscándose como resultado directo la prevención de un posible daño a la formación que se pudiera generar por el arenamiento de los pozos por una mala selección de la completación a emplearse.

1.8 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se llevará a cabo en el Campo Posa, el cual se ubica en el Golfo de Paria, perteneciente a la Cuenca Oriental, Subcuenta de Maturín, situada en el bloque levantado, 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.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad no se ha realizado ningún estudio de Factibilidad de uso Diseño de empaque con grava como mecanismo de control de arenas de los Pozos del Campo POSA, pero si se han llevado a cabo ciertos proyectos relacionados con el tema, ya sea en cuanto, a diseño de empaque con grava, al campo, la técnica utilizada, entre otras. Los siguientes planteamientos de diversos trabajos de grados fueron tomados en consideración para el desarrollo del nuestro:

Osuna, R. (2006), Realizó un estudio geológico, mineralógico, granulométrico y geomecánico de las arenas MO-I y MO-K, del pozo RG-231 del Miembro Moreno de la Formación Oficina de los Campos Santa Rosa y San Joaquín, con el propósito de identificar los parámetros que influyen en el incremento de arenamiento hacia el pozo durante la producción. A partir del estudio realizado se llegó a los siguientes resultados: El método de control de arena a utilizar en el área de estudio es el empaque de grava con rejilla.

Díaz, C, Díaz, Y. (2002), Determinaron las causas y las características del problema de arenamiento en el área, y se desarrolló una metodología que permite la aplicación correcta de mecanismo de control de arena, por medio de ensayos de granulometría, control de calidad de la grava y se determino que el mecanismo de control de arena seleccionado (Empaque con grava).

Hamoui, M. (1998), Analiza y jerarquiza las diferentes técnicas operacionales y de completación de pozos que se han desarrollado para controlar la producción de arena, bajo diferentes condiciones de producción y en áreas de diversas propiedades



geomecánicas, buscando optimizar una metodología que asegure un buen control de la producción de arena.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. Producción de arena

La producción de arena ocurre cuando parte del material perteneciente a la formación viaja del yacimiento al pozo y a la superficie, junto con los fluidos producidos. Este material comúnmente denominado arena, se define como toda partícula con un rango de tamaño entre 2 y 0.0625 mm de diámetro.

2.2.1.1 Origen de la producción de arena

Las condiciones que pueden originar la producción de arena y el estado en que probablemente se encuentra la formación detrás de la tubería de revestimiento, una producida dicha arena, se determina en base a varios factores. Estos factores deben describir tanto la naturaleza del material de la formación que se produce, como las fuerzas que ocasionan la falla en la estructura de la misma, siendo ellos principalmente los siguientes:

- 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.

El fenómeno de arenamiento tiene su origen cuando los esfuerzos desestabilizadores (esfuerzos de arrastre y gradientes de presión) son mayores que la resistencia mecánica de la formación, tal como se observa en la **Figura 2.1**. Cuando esto ocurre se origina una inestabilidad, que causa el desprendimiento del material de



la formación. Este desprendimiento puede ser en forma de granos individuales de arena, que se producen continuamente, o pedazos enteros de la formación.

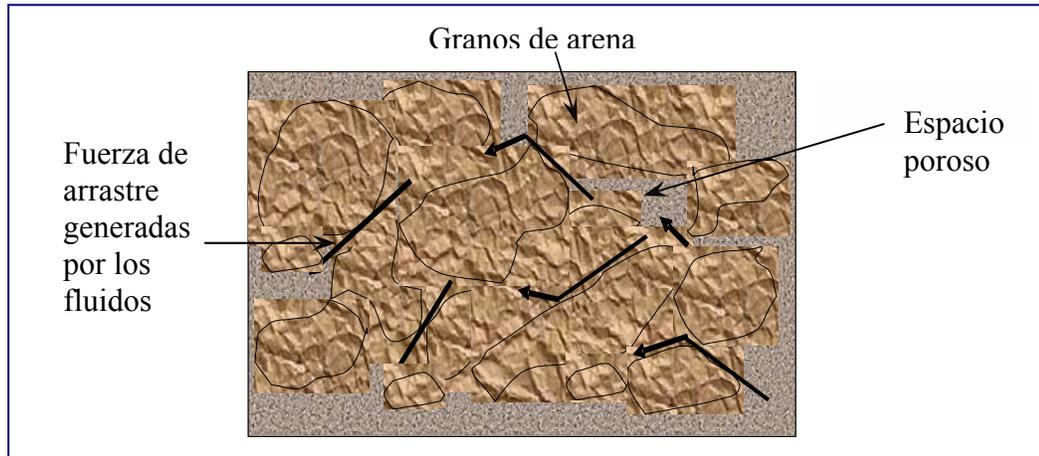


Figura 2.1 Movimiento de los granos de arena causados por esfuerzos desestabilizadores.

2.2.1.2 Arcos de arena

Después que se inicia la producción de arena, en ocasiones se forma un arco (**Figura 2.2**) en la zona que rodea los cañones, el cual debe poseer resistencia suficiente como para sustentar y soportar las cargas generadas por el efecto de los esfuerzos verticales.

En determinadas condiciones, puede tolerarse la producción de una cantidad limitada de arena, permitiéndose el desarrollo de un arco de arena, tras lo cual cesaría la producción de arena de formación, debido a que se crearía filtro natural en la cara de las perforaciones que evitaría el paso de los granos a través de él.

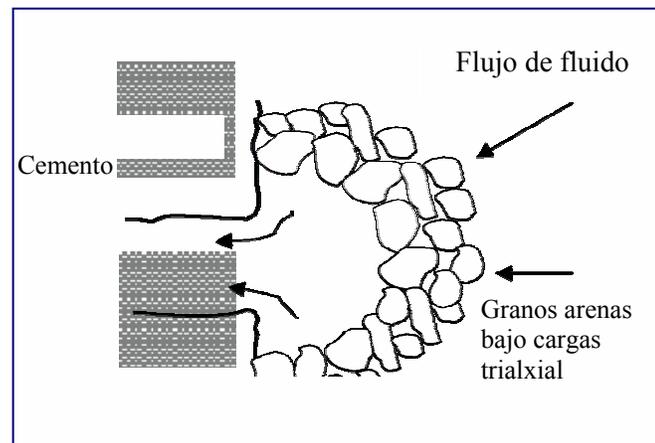


Figura 2.2 Arco estable alrededor de una perforación [5].

2.2.2 Producción de finos

Ocasionalmente el fenómeno de migración de finos es confundido con el fenómeno de arenamiento. Con la palabra finos se definen aquellas partículas que pasan a través del tamiz #200, que son partículas con tamaño menor a 0.074 mm (74micras).

Los finos están compuestos por limos, partículas con tamaños entre 0.074-0.002 mm, y por arcillas, partículas con tamaños menores de 0.002 mm.

El problema de arenamiento es radicalmente distinto al problema de migración de finos, desde el punto de vista del mecanismo que causa el desprendimiento de las partículas, aunque ambos están relacionados con el transporte de partículas desde la formación hacia el pozo.

El desprendimiento de partículas en el arenamiento es causado por una interacción entre los fluidos y sólidos de la formación, debido a las fuerzas de arrastre y gradientes de presión que actúan sobre el esqueleto del mineral.

La migración de finos es causada, principalmente, por una interacción química entre los fluidos y sólidos de la formación, como consecuencia de cambios químicos



que ocurren en los fluidos originando el desprendimiento de partículas de arcillas; caso distinto es el de los limos, los cuales no se separan de la formación, debido a que los mismos no reaccionan con los fluidos y sólidos de la formación. Las partículas de arcilla migran y pueden causar taponamiento de los poros, aumentando considerablemente el daño a la formación. Muchas veces la migración de finos y el arenamiento están relacionados, ya que al moverse las partículas de finos se pueden crear espacios lo suficientemente grandes, como para que se muevan partículas de arena.

2.2.3 Geomecánica

La geomecánica es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales que conforman a las rocas de formación. Esta disciplina está basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la formación bajo los cambios de esfuerzos producidos por las operaciones petroleras de perforación, completación y producción de pozos ^[2].

Igualmente, es definida, como la rama de la mecánica que estudia la respuesta de la roca a los campos de fuerzas existentes en su ambiente físico ^[1].

La geomecánica es usada para entender el arenamiento, pues este fenómeno depende de la relación entre los esfuerzos desestabilizadores y la resistencia mecánica de la formación.

2.2.4 Factores que afectan la producción de arena

Los esfuerzos desestabilizadores y la resistencia mecánica de la formación pueden ser afectados sustancialmente por las operaciones tradicionales de pozos, tales como perforación, completación, producción y estimulación. Por lo tanto, para poder analizar el fenómeno de arenamiento en toda su amplitud, se debe analizar todas



aquellas operaciones que puedan incidir sobre los esfuerzos desestabilizadores y la resistencia mecánica de la formación. En tal sentido, dichas operaciones pueden disminuir sustancialmente la resistencia mecánica de la formación, y/o aumentar las velocidades de los fluidos, generando esfuerzos de arrastre excesivos.

A las actividades de pozos que pueden causar arenamiento ya mencionadas se le suman las siguientes: cementaciones, cañoneos, cambios en las tasas de bombeo (arranque y parada de pozos) y estimulaciones, y cambios en la ratas de producción (aumento de estranguladores), alta producción de gas.

2.2.5 Causas de la producción de arena

Para considerar el control de arena, o el control de sólidos de la formación, se debe diferenciar entre la presión de carga de los sólidos y las partículas finas, éstas normalmente no son consideradas parte de la estructura mecánica de la formación. Si los finos se mueven libremente a través de los canales de la arena gruesa, ellos no taponaran el canal. Así, el “control de arena” realmente se refiere al control de la sobrecarga de las partículas. La tasa de arena que sea superior de 0.1% (volumétrico) normalmente puede ser considerada excesiva, pero dependiendo de las circunstancias, el límite práctico podría ser mucho más bajo o superior.

El material solidó que se produce en un pozo consta tanto de finos de formación, como de sólidos que soportan la carga. Generalmente, la producción de finos no puede evitarse, es preferible que los finos se desplacen libremente, a través de la formación o de un empaque con grava instalado. El factor crítico para evaluar el riesgo de producción de arena de un pozo en particular, consiste en definir si la producción de partículas que soportan la carga puede mantenerse por debajo de un nivel aceptable a las tasas de flujo y condiciones de producción que, de acuerdo a lo previsto, harán que la producción del pozo sea rentable.



La lista que se presenta a continuación resume muchos de los factores que inciden en la tendencia de un pozo a producir arena, los cuales se pueden clasificar en dos categorías: efectos del flujo de fluidos y efectos de la resistencia de la roca:

- Flujo de fluidos.
- Factores geográficos y geológicos.
- Grado de consolidación.
- Reducción de la presión de poro.
- Tasa de producción.
- Viscosidad del fluido del yacimiento.
- Aumento de la producción de agua.

2.2.5.1 Flujo de fluidos. Las tensiones que en su mayoría tienden a causar la producción de arena usualmente son las que derivan del flujo del fluido, que es proporcional a la caída de presión entre el pozo y el yacimiento. El arrastre relaciona la fuerza impartida por el flujo de fluido a la velocidad y a la viscosidad del fluido. Si la arena es mojada por agua o petróleo se puede afectar su tendencia a ser producida. Las uniones intergranulares proporcionan restricciones entre los mayores esfuerzos y las tensiones. Por esta razón, la tasa de un pozo y el grado de consolidación natural en la formación influyen en el arenamiento.

2.2.5.2 Factores geográficos y geológicos. La producción de arena ha sido experimentada en casi todas las áreas del mundo donde la tasa de petróleo o de gas proviene de los yacimientos de areniscas; por lo tanto, el problema es mundial. La producción de arena es muy común en los yacimientos de la Edad Terciaria, debido a que estos yacimientos son geológicamente jóvenes y normalmente se localizan a profundidades relativamente bajas, no han logrado compactarse y tienen cementación intergranular muy pobre.



2.2.5.3 Grado de consolidación. La capacidad de mantener túneles de perforación abiertos depende estrechamente del nivel de cohesión existente entre los granos de arena. La cementación de la arenisca suele constituir un proceso geológico secundario y, por lo general, los sedimentos más antiguos tienden a estar más consolidados que los más recientes. Esto significa que la producción de arena constituye normalmente un problema cuando se origina informaciones sedimentarias Terciarias que son superficiales y geológicamente más jóvenes.

2.2.5.4 Reducción de la presión de poro. La presión del yacimiento sustenta 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, se pierde parte del soporte que poseía la roca suprayacente. La disminución de la presión del yacimiento genera una cantidad creciente de esfuerzo en la arena de formación. En un momento determinado, los granos de arena de formación podrían separarse de la matriz o triturarse, lo cual generaría finos que se producen conjuntamente con los finos del pozo. La compactación de la roca yacimiento por reducción de la presión de poro puede ocasionar el fenómeno de subsidencia de la superficie.

2.2.5.5 Tasa de producción. La producción de fluidos de yacimiento genera un diferencial de presión y fuerza de arrastre friccional que pueden combinarse para vencer la resistencia a la compresión de la formación. Esto significa que existe una tasa de flujo crítica para la mayoría de los pozos por debajo de la cual el diferencial de presión y las fuerzas de arrastre friccional no son lo suficiente grandes como para exceder la resistencia a la compresión de la formación y ocasionar la producción de arena. La tasa de flujo crítica de un pozo podría determinarse aumentando lentamente la tasa de producción hasta que se detecte producción de arena.

2.2.5.6 Viscosidad del fluido del yacimiento. La fuerza de arrastre friccional que se ejerce sobre los granos de arena de la formación es creada por el flujo de fluido del yacimiento. Dicha fuerza es directamente proporcional a la velocidad del flujo de



fluido y la viscosidad del fluido de yacimiento que está produciendo. La fuerza de arrastre friccional sobre los granos de arena de la formación es mayor en el caso de fluidos de yacimientos 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.

2.2.5.7 Aumento de la producción de agua. La producción de arena podría incrementarse o iniciarse cuando comience a producirse agua o aumente el corte de agua debido, posiblemente, a dos razones. En primer lugar, en el caso de una formación de arenisca mojada 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 del agua, el agua de formación tiende a mezclarse al agua producida, lo que disminuye las fuerzas de tensión superficial y, por ende, la cohesión intergranular. Se ha demostrado que la producción de agua restringe severamente la estabilidad del arco de arena que rodea una perforación, lo que a su vez da inicio a la producción de arena. El segundo mecanismo mediante el cual la producción de agua afecta la producción de arena está asociado a los efectos de la permeabilidad relativa. A medida que aumenta el corte de agua, disminuye la permeabilidad relativa al crudo, por lo cual se requiere un diferencial de presión mayor para producir crudo a la misma velocidad. Todo aumento del diferencial de presión en la zona cercana a la cara de la arena de formación genera una fuerza de cizallamiento mayor en los granos de arena de la formación. También en este caso, el aumento de los esfuerzos puede desestabilizar el arco de arena alrededor de cada perforación y, por ende, inicial el proceso de producción de arena.

2.2.6 Efectos de la producción de arena

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:

2.2.6.1 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.

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

2.2.6.3 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 equipo de superficie, lo que implica la necesidad de efectuar trabajos frecuentes de mantenimiento para



reemplazar los equipos dañados. La **Figura 2.3**, muestra una fotografía de una sección de rejilla expuesta a una perforación que estaba produciendo arena.



Figura 2.3 Falla de rejilla por erosión causada por la arena de formación ^[5].

2.2.6.4 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 continuara ampliándose 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 arcilla 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 modificara 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 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 incrementara significativamente la caída de presión a través de la formación cerca del pozo.

2.2.7 Mecanismos que permiten determinar la necesidad de aplicar mecanismo de control de arena

La dificultad que implica determinar si un pozo requiere ó no de un mecanismo de control de arena se incrementa cuando el mismo se perfora en un área donde existe poca o ninguna experiencia de producción y donde los diversos factores de yacimiento son ligeramente distintos de los que se manifestaron en regiones explotadas con anterioridad. Incluso cuando las propiedades del yacimiento y la formación son prácticamente idénticas a otras explotaciones, las condiciones operativas y los riesgos podrían exigir la utilización de estrategias distintas. El procedimiento general que sigue la mayoría de los operadores que deben determinar si el control de arena es necesario o no, consiste en definir la dureza de la roca de formación. Dado que la resistencia a la compresión de la roca se expresa en las mismas unidades que el diferencial de caída de presión o drawdown del yacimiento, los dos parámetros pueden compararse, para así establecer límites de drawdown para cada pozo.

La porosidad de una formación puede utilizarse como orientación para determinar la necesidad de aplicar alguna técnica de control de arena. Si la porosidad de la formación es superior al 30%, las posibilidades de que se requiera el control de arena son mayores, mientras que, si por el contrario, la porosidad es inferior al 20%, las probabilidades de que se necesite dicho control son menores. El intervalo de porosidad comprendido entre el 20-30 % es el que suele plantear incertidumbre. Intuitivamente, se asocia la porosidad al grado de cementación existente en una formación, por lo que las razones que justifican la utilización de esta técnica son comprensibles.



El diferencial de caída de presión asociado con la producción puede ser un indicador del potencial de producción de arena de formación. No puede haber producción de arena con bajos diferenciales de presión alrededor del pozo, mientras que con altos diferenciales de presión se puede causar la producción de material de formación a niveles inaceptables. La cantidad del diferencial de caída de presión esta normalmente asociada con la permeabilidad de la formación y con la viscosidad de los fluidos producidos. Los fluidos de baja viscosidad como el gas experimentan diferenciales de caída de presión bajos, contrario al diferencial de presión que estaría asociado con un fluido de 1000 Cps, producido en el mismo intervalo. Por lo tanto, una producción de arena alta esta usualmente asociada con fluidos viscosos.

En el desarrollo de las actividades de explotación de hidrocarburos a escala mundial, a medida que los yacimientos se han agotado, se ha experimentado un incremento en los problemas asociados con la productividad de los pozos.

2.2.8 Técnicas de control de arena de formación

Existen muchas técnicas para controlar la producción de arena en pozos, las cuales van desde simples cambios en las prácticas de operación y producción de los pozos, hasta costosos equipos de completación; todos ellos con el propósito de controlar el movimiento de partículas de la formación hacia la boca del pozo^[1].

El método de control seleccionado depende de las condiciones específicas del sitio, las prácticas operativas y factores económicos. Algunas de las técnicas existentes para el control de arena son^[3]:

- Modificación de las tasas o velocidad de producción.
- Prácticas selectivas de completación.
- Consolidación plástica.
- Rejillas o "liner" ranurados sin empaque con grava.



- Rejillas o "liner" ranurados con empaque con grava.
- Rejillas preempacadas.
- Empaque con grava con recubrimiento de resina.
- Consolidación de arena "in situ".
- FracPack.

2.2.9 Muestras de arena de formación

Las técnicas de muestreo y el análisis granulométrico de la arena de formación son muy importantes para la selección de la grava de empaque, el tamaño de las ranuras del "liner" ranurado y rejillas, para las diferentes técnicas de control de arena. La utilización de técnicas inadecuadas de muestreo de arena de formación puede traducirse en empaques con grava, "liner" o rejillas que fallen debido al taponamiento de los mismos o a la producción de arena. Como el tamaño de la arena de formación reviste tanta importancia, la técnica empleada para obtener una muestra de formación resulta también importante, de cada una de las técnicas o métodos de muestreo se pueden obtener resultados diferentes^[3].

A continuación se enumeran los métodos para obtener muestras de arena de formación en orden de confiabilidad:

- Muestra de núcleos convencionales.
- Muestras de núcleos de pared.
- Muestras obtenidas mediante achique.
- Muestras producidas.



2.2.10 Diseño de empaques con grava

Los empaques de gravas son filtros de fondo para prevenir la producción no deseada de arena de formación. Esta arena de formación se mantiene en su sitio gracias a la acción de una arena de empaque debidamente dimensionada.

La productividad del pozo se encuentra íntimamente relacionada con la selección de la grava de empaque, ya que si pequeñas cantidades de arena de formación y grava del empaque se mezclan, puede causar el bloqueo de la porosidad y al mismo tiempo reducir la permeabilidad efectiva de la grava disminuyendo la productividad. El tamaño de la grava debe ser seleccionado de tal forma que la arena de formación forme un puente con muy poco o ningún movimiento de la arena en el empaque de grava, lo más recomendado es usar tamaños de grava menores de acuerdo a la experiencia obtenida^[1].

2.2.10.1 Análisis granulométrico. Método de la “S”.

Es el método más usado por sus buenos resultados y su sencillo procedimiento. El único inconveniente que presenta, para gente de poca experiencia, es la dificultad de detectar errores de muestras o de ensayos efectuados, a través de la curva en sí. Consiste en colocar una muestra previamente pesada de la arena sobre un conjunto de tamices, donde el tamaño de la malla estará ubicado de mayor a menor, de arriba hacia abajo, luego de colocarlo en un vibrador electrónico se pesará la muestra retenida por cada tamiz para obtener así el porcentaje de peso retenido en cada uno. Se calcula el porcentaje de peso acumulado para graficarlo versus el tamaño de las mallas o el número de tamiz (código U.S.), en coordenadas semilogarítmicas preferiblemente. La curva generalmente será similar a una “S” la cual representa la distribución del tamaño de los granos presentes en la formación^[1]. (**Figura 2.4**).

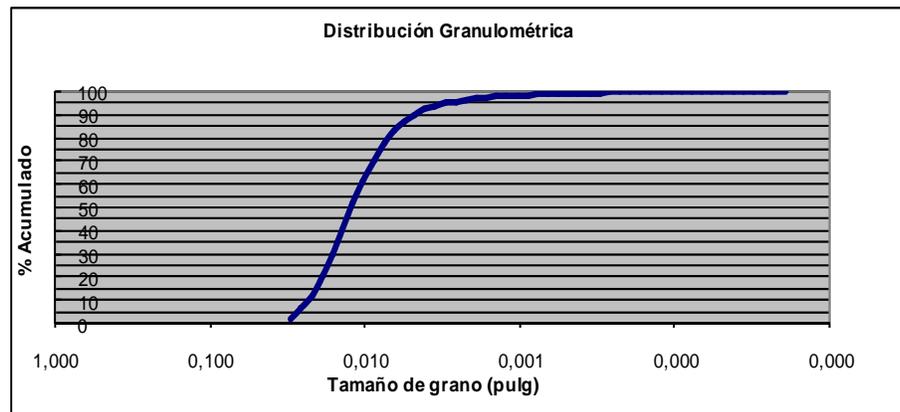


Figura 2.4 Distribución granulométrica de la arena de formación [5].

2.2.11 Criterios para la selección de la grava

Existente diversas técnicas que permiten seleccionar el tamaño de arena de empaque con grava para controlar la producción de arena de formación. La técnica que más se emplea en la actualidad fue desarrollada por Saucier, sin embargo, existen una serie de criterios desarrollados por otros investigadores para la selección del tamaño de grava para el empaque [2].

2.2.11.1 Método de Saucier.

Este es el método más usado, el trabajo de Saucier parte de la premisa básica de que el control óptimo de la arena se logra cuando el tamaño medio de arena del empaque no es más de seis (6) veces mayor que el tamaño medio de los granos de arena de formación (D50); él se basó en una serie de experimentos con flujo a través de núcleos, donde la mitad del núcleo estaba constituido por grava de empaque y la otra mitad era arena de formación. Luego modificó el rango comprendido entre dos (2) y diez (10), para determinar con exactitud cuál era el control óptimo de arena. La **Figura 2.5** muestra los resultados de los experimentos con flujo a través de núcleos.



Tal como se observa en el gráfico, la relación k_f / k_i disminuye a medida que aumenta por encima de seis la relación tamaño medio de la arena de empaque con grava/tamaño medio de la arena de formación [2].

$$D_{\text{grava}} = (6 - 5 * D50_{\text{formación}}) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

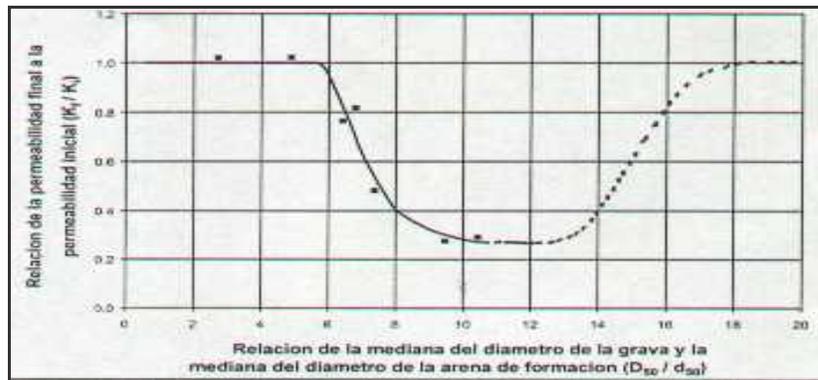


Figura 2.5 Resultados de pruebas de Saucier [5].

Se escoge la arena disponible que corresponda al rango calculado de tamaños de arena de empaque con grava. En el caso que este rango calculado se ubique entre los rangos de tamaño de la arena de empaque con grava disponible en el mercado, se seleccionará por lo general la arena de empaque con grava más pequeña. La **Tabla 2.1** contiene información acerca de los tamaños de arena de empaque con grava disponible en el mercado [2]

Tabla 2.1 Gravas Comerciales ^[3]

TAMAÑOS DE GRAVA COMERCIALES	RANGO DE TAMAÑO (PULG)
8/12	0.094 – 0.066
10/20	0.079 – 0.033
12/20	0.066 – 0.033
16/30	0.047 – 0.023
20/40	0.033 – 0.017
40/60	0.017 – 0.0098

2.2.11.2 Método de Schwartz.

Primero calcula si la arena de formación es uniforme o no; el coeficiente de uniformidad “C” está definido como la relación del cuarenta (D40) percentil sobre el noventa (D90) percentil ($C = D40/D90$), luego si el coeficiente (C) es menor de tres (3) la arena será uniforme, pero si el factor C está entre cinco (5) y diez (10) no es arena uniforme, y si es mayor o igual a diez (10) entonces es extremadamente no uniforme. Schwartz recomienda un factor de seis (6) para un diseño óptimo y ocho (8) como una consideración máxima, por el 10 percentil de la arena si esta es uniforme, por el 40 percentil para arenas no uniformes y por el D70 percentil si es demasiado no uniforme ^[2].

$$C_u = (D40/D90) \quad \text{Ecuación}$$

2.2



2.2.11.3 Método de Hill.

Este autor recomienda la utilización de un diámetro de grava menor que un factor de 8 veces el diez (10) percentil (D10) de arena de formación, aunque antes había presentado evidencias en contra del D10 ^[2].

$$D_{grava} = (8 * D10_{formación}) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

2.2.11.4 Método de Coberly.

Demostró que el tamaño de grava debe ser menor que un diámetro comprendido entre diez (10) veces y trece (13) veces el percentil 10 de la arena de formación. Además recomienda este método para arenas uniformes porque los finos invadirían la grava y restringirían la permeabilidad ^[2]

$$D_{grava} = (10 - 13 * D10_{formación}) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

2.2.11.5 Método de Gumpertz.

Inicialmente concluyó lo mismo que Coberly, luego sugirió utilizar una grava once (11) veces el percentil 10 del diámetro de la arena ^[2].

$$D_{grava} = (11 * D10_{formación}) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

2.2.11.6 Método de Karpoff.



Trabajó en problemas de drenaje de aguas subterráneas en los cuales las tasas de flujo y presiones diferenciales que utilizó lo hicieron aplicable a los problemas de la industria petrolera. Al comienzo utilizó el 10 percentil de la arena de formación y consideró que el cincuenta (50) percentil era mucho más descriptivo en la distribución del tamaño de los granos. Entonces recomendó utilizar una grava de un tamaño cinco (5) a diez (10) veces mayor que 50 percentil de arena (D50). También es recomendada esta sugerencia, ya que específicos diámetros menores de la grava que los que se utilizaban antes, controlando la arena de formación sin reducir la permeabilidad y manteniendo la productividad ^[2].

$$D_{grava} = (5 - 10 * D50_{formación}) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

2.2.11.7 Método de Stein.

Esta es la mejor aplicación a formaciones con un tamaño de partículas uniforme. Stein sugiere utilizar un diámetro menor a cuatro (4) veces el quince (15) percentil de la arena de formación ^[2].

$$D_{grava} = (4 * D15_{formación}) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

2.2.12 Criterios de diseño y selección

2.2.12.1 Criterios de selección de tubería ranurada

Las tuberías ranuradas son usadas para evitar la producción de arena del empaque con grava. Como su nombre lo dice son tuberías con ranuras, donde el ancho de éstas debe controlarse rigurosamente para que la grava de empaque quede retenida en las aberturas de la tubería. El ancho de las aberturas también es llamado calibre, el calibre no es más que las pulgadas del ancho de las aberturas multiplicado por mil



(1.000). El calibre del “liner” o rejilla se diseña de tal forma que sea igual a $\frac{2}{3}$ el tamaño de grava más pequeño seleccionado para el empaque, redondeado al calibre comercial más cercano inferior.

Las tuberías ranuradas son normalmente tubulares API o estándar, en las cuales son cortadas ranuras verticales u horizontales con un calibre específico. Las ranuras horizontales actualmente casi no son utilizadas, ya que hay poca resistencia a la tensión en los tubulares. Las ranuras verticales son cortadas en forma sesgada, permitiendo el paso de cualquier grano que no esté puenteado en las ranuras, previniendo así la acumulación de la arena en las ranuras evitando su taponamiento. Generalmente se selecciona el diseño de zig-zag de ranura sencilla debido a que se preserva una porción grande de la resistencia original de la tubería. El diseño en zig-zag también da una distribución más uniforme de las ranuras sobre el área superficial de la tubería. Las filas de las ranuras en el diseño en zig-zag de ranuras sencilla generalmente tienen un espaciamiento longitudinal de 6 pulgadas. La **Figura 2.6**, muestra las diferentes geometrías existentes en cuanto a las ranuras.

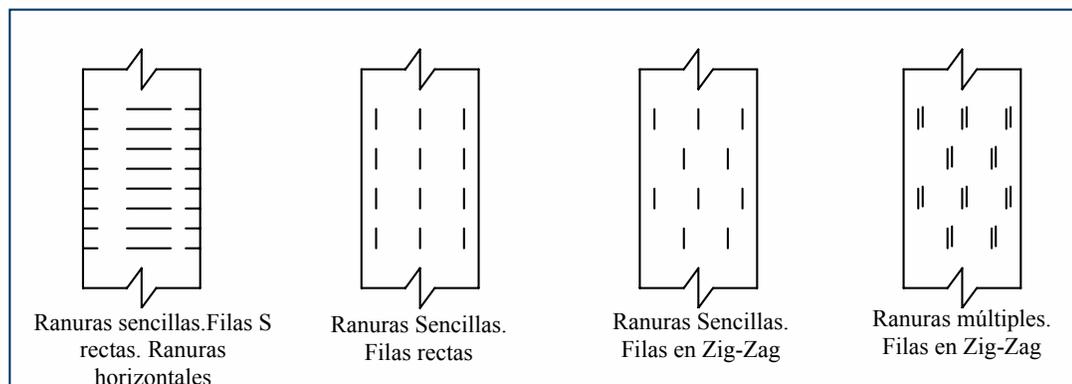


Figura 2.6 Geometría de las ranuras de las tuberías ranuradas [5].



El calibre de la ranura debe ser tal que no deje pasar la grava, pues si esto sucede, el empaque se puede asentar y se mezclaría con la arena de formación o se crea un espacio vacío produciéndose arena de formación. Por esta razón el ancho de las ranuras debe ser un poco menor que el grano más pequeño de la grava a usarse o por lo menos $2/3$ menor que el grano más pequeño de la grava. La ranura puede ser recta o en forma de trapecio (**Figura 2.7**), la ranura en forma de trapecio es más estrecha en la cara exterior del tubo, en comparación con la parte interior y tiende menos a taponarse, porque las partículas pasan a través de la ranura en el diámetro exterior y no se quedan alojadas dentro de la ranura.

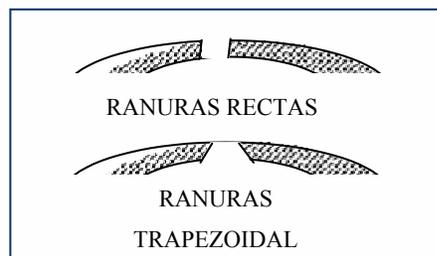


Figura 2.7 Forma de las ranuras ^[5].

La medida de las ranuras individuales se calibra en el diámetro interior del tubo según la **Tabla 2.2**:

Tabla 2.2 Características de las ranuras ^[5].

Ancho	Longitud Interna	Longitud Externa
$\leq 0,030$	1 1/2"	2"
0,030" - 0,060"	2"	2 1/2"
$\geq 0,060$ "	2 1/2"	3 1/8"

Generalmente las tuberías ranuradas se diseñan con un 3% de área abierta con relación al área superficial del diámetro exterior de la tubería, aunque en algunos



casos se puede llegar hasta un 6%. El número de ranuras por pie para obtener un área abierta se calcula por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{12 * \pi * D + C}{100 * W * L} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

N = números de ranuras requeridas/pies.

Si $N < 32$, redondear al múltiplo más cercano de 4.

Si $N > 32$, redondear al múltiplo más cercano de 8.

$\pi = 3.1416$.

D = diámetro exterior de la tubería (pulgadas).

C = área abierta requerida (porcentaje).

W = ancho de ranura (pulgada).

L = longitud de la ranura medida en diámetro interior de tubería (pulgadas).

El rasurado de la tubería disminuirá la resistencia a la tensión de la misma, para ese caso la resistencia puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$T_m = \sigma \left[\frac{\pi(D_2 - d_2)}{4} - \frac{N * W * (D - d)}{4} \right] \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

T_m = tensión máxima permitida (libras).

σ = Resistencia a la tensión del material de la tubería (libas por pulgada cuadrada).

$\pi = 3.1416$.



D = diámetro exterior de la tubería (pulgadas).

d = diámetro interior de la tubería (pulgadas).

N = número de ranuras/pies.

W = ancho de las ranuras (pulgadas).

El tamaño mínimo de ranura debería ser de 0.010", ya que cuando se trabaja con tuberías de acero al carbono la corrosión puede obstruir las ranuras.

2.2.12.2 Calidad de grava

Para asegurar la productividad del pozo es necesario revisar la calidad de la grava, pues de ésta dependen muchos factores, como lo es la permeabilidad de la grava y su capacidad de controlar el movimiento de la arena, para así permitir una productividad total de la formación. Durante muchos años para la selección de la grava se basaban en los tamaños más grandes por su permeabilidad. Actualmente la norma API RP58 presenta las propiedades que debe cumplir un empaque de grava ^[1]. Son pocas las gravas naturales que cumplen con las especificaciones API sin ser sometidas a ningún proceso. A continuación se mencionan las características que deben ser consideradas para la evaluación de la calidad de la grava.

Análisis de tamizado. El procedimiento es igual al análisis granulométrico de la arena de formación, pero con la variante de que los tamices a utilizar serán únicamente los indicados por las especificaciones de la grava, por ejemplo si la grava es 20-40 U.S. mesh, se colocará el n° 20 arriba y el n°40 abajo, con una bandeja. Luego se calculará el % en peso retenido. Si el % retenido en el tamiz de menor diámetro (n°40) es menor del 96%, o lo retenido en el tamiz de mayor diámetro (n°20) excede el 2% o si en la bandeja hay más de 2% entonces no es de buena calidad, ya que no está dentro de especificaciones. Una cantidad mayor de finos reduciría la permeabilidad restringiendo la capacidad de flujo y demasiados granos



grandes no controlan el movimiento de arena, permitiendo la mezcla de la grava y la arena reduciendo la permeabilidad ^[1].

Esfericidad. Es la medida de la forma de los granos que más se asemejen a una esfera. El valor de una esfera perfecta es “1”. La esfericidad se determina mediante la comparación visual de la grava con dibujos que van desde una esfera perfecta hasta partículas de menor esfericidad que poseen ratas de dicha esfera ideal ya estandarizadas. La esfericidad ideal debe ser de 0,6 ó más, si es menor la grava tenderá a romperse al ser bombeada al hoyo, lo que creará un empaque de menor permeabilidad ^[1].

Redondez. Es la medida de la uniformidad y la curvatura de la grava. El valor óptimo de redondez de una grava de ser de 0,6 ó más, ya que si es más angular, tendrá más bordes y puntas que se desgastan al ser bombeada al pozo. Al igual que la anterior se mide por comparación visual con una tabla estándar de redondez ^[1]. (**Figura 2.8**).

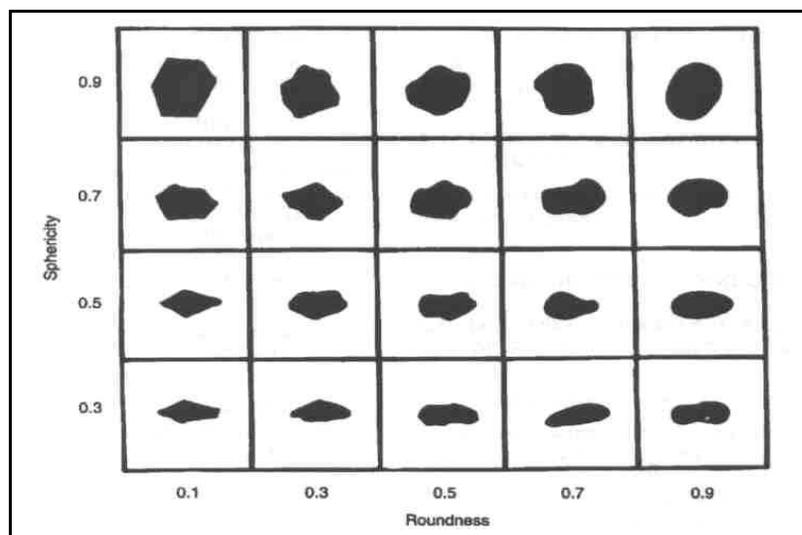


Figura 2.8 Esfericidad y redondez por Krumbein y Sloss ^[2]

Solubilidad en ácido. Debe ser determinada antes de su uso para mostrar el efecto que tendría un tratamiento de ácido futuro en ella. No debe existir una solubilidad en



ácido clorhídrico mayor a 1%, ya que esto causaría un movimiento en el empaque de grava que ocasionaría fallas del empaque. Además de indicar que la grava no es buena cuarcita y que existen impurezas que reducirán la fuerza de la grava, creando finos al ser bombeada al pozo ^[1].

Contenido de impurezas. Las impurezas indicarán que la grava puede ser más soluble en vapor y aún en agua, lo cual puede ser una consideración importante si el empaque con grava es utilizado en un pozo de agua o de inyección de vapor. La cantidad de impurezas se mide determinando la turbidez en una suspensión de agua y grava de empaque, la cual debería ser de 250 NTU o menos ^[1].

Resistencia a la trituración. Una muestra de grava sin finos sometida a la prueba de confinación no debería producir más del 2% en peso de finos, ya que esto indicaría que la grava sería más débil y podría romperse y triturarse con más facilidad. Si es una grava de tamaño grande (Malla 12 - 20) no debería sobrepasar el 4% y el 8% para Mallas 8 – 12 ^[1].

2.2.13 Simulador de yacimientos PIPESIM

Pipesim permite efectuar análisis de sensibilidad sobre cualquier variable del sistema y representar gráficamente el flujo de entrada/flujo de salida en cualquier nodo del sistema, proporcionando una manera de entender donde se pueden residir las oportunidades de mejoramiento de la producción.

La aplicación Pipesim incluye todos los tipos de modelos de terminación estándar para pozos verticales, horizontales y fracturados y posibilita el modelado de terminaciones complejas de varias capas utilizando diferentes parámetros de desempeño de yacimiento y descripciones de flujo.





CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación estuvo enmarcada en la modalidad de Proyecto Factible, basada en una investigación de campo de carácter Descriptivo, por cuanto el propósito del estudio atendió, con su logro, a dar una solución concreta y viable a la problemática en propuesta.

Según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2001) los Proyectos Factibles “consisten en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales deben tener el apoyo de una investigación de campo” (p.7).

Dentro de este contexto se instrumentó la presente investigación, la cual estuvo referida a la estudiar la aplicabilidad del diseño de empaque con grava para el control de arena de los pozos del Campo Posa, Golfo de Paria. Cabe señalar que la investigación se apoyó en una investigación de campo, Sabino (1992) señala al respecto que los estudios de campo “son aquellos que tienen condiciones de recoger datos primarios directamente dentro de la realidad”. Así mismo el carácter de campo de la investigación indujo a la recolección directa de los datos en el propio sitio de su resguardo. Dicha investigación de campo consistió en la recolección de una serie de muestras de roca extraídas de núcleos los cuales fueron tomados en intervalos que abarcaban dentro de su rango las formaciones de interés para su posterior análisis con el equipo de tamizador electrónico.



Por otra parte, dicha investigación también se apoyó en documentos de archivo como los post-mortem de los pozos del Campo de los cuales aunque no contenían información granulométrica.

Es importante destacar que la investigación es descriptiva, por que permitió describir las variables de forma independiente y en un solo momento. Al respecto Finol y Navas, (1996) la definen como “aquella cuyo objetivo fundamental es señalar particularidades de una situación, hecho o fenómeno, es decir, describir sistemáticamente el comportamiento de una variable haciendo uso de la estadística descriptiva, porque es aconsejable al describir, señalar números, cantidades, promedio, porcentajes, etc.” (p.40).

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Según Chávez, (1994) la población se define “como el universo de la investigación, sobre el cual pretende generalizar los resultados. Está constituido por características o estratos que le permitan distinguir los sujetos, uno de otros” (p.162).

Así una población es la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudiará y dará origen a los datos de la investigación. El siguiente estudio presenta como población, 12 pozos del Campo Posa.

La muestra por otro lado, estuvo conformada por 11 ejemplares tomados en núcleos y muestras de canal lavadas distribuidos en 3 pozos, la muestra de este trabajo se distribuyó como se observa en la **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.3 Muestra seleccionada para el estudio.**

Pozo	Nº de muestra	Intervalo	Arena
Posa 40-1	1	2100'-2600'	*
Posa 40-1	2	3500'- 4010'	*
Posa 40-1	3	4010'- 4400'	N
Posa 112-1	4	1089'- 1097'	*
Posa 112-1	5	4069'- 4077'	N
Posa 112-1	6	4140'-4144'	N
Posa 117-1	7	2880'- 3000'	*
Posa 117-1	8	3969'- 4500'	N
Posa 117-1	9	4500'- 4950'	N
Posa 117-1	10	5730'- 5830'	Q
Posa 117-1	11	6000'- 6210'	Q

(*) Intervalo no definido.

3.3 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LOS POZOS EXISTENTES DEL CAMPO POSA, DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA FORMACIÓN.

La recolección de los datos en este estudio incluye la revisión documental del material presente en las Carpeta de los Pozos tanto físicas como digitales, la toma de muestras directamente de los núcleos extraídos de las formaciones productoras y el análisis de estudios sedimentológicos y estratigráficos realizados en el Campo Posa.

Sin embargo se hizo necesario discretizar cuales serian los pozos que permitirían realizar el estudio del empaque con grava como mecanismo de control de arena para posteriormente seleccionar las muestras presentes que correspondan a dichos pozos.



3.4.-ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES DE LOS POZOS EVALUADOS A TRAVES DE LAS PRUEBAS DE POZOS.

En la recopilación de datos fue posible obtener en la carpeta de los pozos completados y probados pertenecientes al Campo Posa las pruebas extendidas de flujo correspondientes a los mismos y en función de estas pruebas se hizo un estudio con la finalidad de determinar el problema operacional existente en los pozos.

3.5.- REALIZAR PRUEBAS DE GRANULOMETRÍA DE LOS NÚCLEOS TOMADOS EN LOS POZOS DEL CAMPO POSA PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE GRAVA A UTILIZAR.

Para llevar a cabo las pruebas de granulometría fue necesario realizar un estudio para determinar cuáles de los pozos del Campo Posa podrían contar con núcleos en condiciones óptimas para ejecutar dicha prueba, para lo cual fue necesario solicitar ayuda a la Nucleoteca de PDVSA- INTEVEP ubicada en Los Teques en el Estado Miranda. Para efectuar el análisis granulométrico se realizó lo siguiente.

3.5.1 Recopilación de Muestras de Núcleos de los distintos Pozos y Análisis con el equipo de Tamizador electrónico.

3.5.1.1 Proceso de Selección de Núcleos y Toma de Muestras.

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 las mesas de despliegue de la Nucleoteca (**Figura 3.1**) para ello se le solicitó al personal de la misma un inventario de los pozos con núcleos y muestras de canal disponibles para este campo (**Tabla 3.2**).



Tabla 3.2 Inventario de pozos con toma de núcleos y muestra de canal ubicado en la Nucleoteca de Intevep

Pozo	Intervalo	Tipo de Muestra
Posa 40-1	2260' - 4729'	Núcleo
Posa 40-1	8505' - 8518'	Núcleo
Posa 40-1	8520' - 8534'	Núcleo
Posa 40-1	8537' - 8545'	Núcleo
Posa 40-1	8545' - 8554'	Núcleo
Posa 40-1	8554' - 8560'	Núcleo
Posa 40-1	8560' - 8569'	Núcleo
Posa 40-1	8570' - 8584'	Núcleo
Posa 40-1	8585' - 8864'	Núcleo
Posa 40-1	315' - 930'	Canal lavada
Posa 40-1	930' - 1510'	Canal lavada
Posa 40-1	2170' - 2750'	Canal lavada
Posa 40-1	2750' - 3400'	Canal lavada
Posa 40-1	3400' - 3940'	Canal lavada
Posa 40-1	3940' - 4400'	Canal lavada
Posa 40-1	2080' - 2510'	Canal lavada
Posa 40-1	2510' - 3200'	Canal lavada
Posa 40-1	3200' - 3770'	Canal lavada
Posa 40-1	3770' - 4430'	Canal lavada
Posa 40-1	4430' - 5030'	Canal lavada
Posa 40-1	5630' - 6140'	Canal lavada
Posa 40-1	6140' - 6710'	Canal lavada
Posa 40-1	6710' - 7310'	Canal lavada
Posa 40-1	7310' - 7880'	Canal lavada
Posa 40-1	7880' - 8480'	Canal lavada



Posa 40-1	8480'- 8860'	Canal lavada
Posa 112-1	1080'- 2912'	Núcleo
Posa 112-1	2912'- 2932'	Núcleo
Posa 112-1	2932'- 4051'	Núcleo
Posa 112-1	4069- 4923'	Núcleo
Posa 117-1	215'- 1280'	Canal lavada
Posa 117-1	1280'- 2880'	Canal lavada
Posa 117-1	2880'- 4950'	Canal lavada
Posa 117-1	4950'- 6270'	Canal lavada
Posa 117-1	6270'- 7020'	Canal lavada
Posa 117-1	7020'- 7480'	Canal lavada
Posa 117-1	7480'- 7750'	Canal lavada

A partir de la anterior lista, se procedió a revisar información de cada uno de los pozos en las carpetas de pozos, para así saber las arenas que atravesaban cada uno de ellos, sus intervalos y si se le había practicado cualquier tipo de análisis de Núcleo. Logrando así reducir la lista de pozos a desplegar. La **Tabla 3.3** muestra los intervalos de los pozos que fueron desplegados en la Nucleoteca de Intevep.

Tabla 3.4 Intervalos de pozos desplegados en la Nucleoteca de Intevep.

Pozo	Intervalo	Tipo de muestra
Posa 40-1	2100'-2600'	Canal lavada
Posa 40-1	3500'- 4010'	Canal lavada
Posa 40-1	4010'- 4400'	Canal lavada
Posa 112-1	1089'- 1097'	Núcleo
Posa 112-1	4069'- 4077'	Núcleo
Posa 112-1	4140'-4144'	Núcleo
Posa 117-1	2880'- 3000'	Canal lavada



Posa 117-1	3969' - 4500'	Canal lavada
Posa 117-1	4500' - 4950'	Canal lavada
Posa 117-1	5730' - 5830'	Canal lavada
Posa 117-1	6000' - 6210'	Canal lavada

Estos núcleos y muestras de canal están organizados por intervalos, en cajas de tres pies de largo por medio pie de ancho por medio pie de espesor. incluía intervalos 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 para llevar a cabo análisis de dichas secciones.



Figura 3.1 Mesa de Despliegue de la Núcleoteca Intevap

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera: Una vez que se tenían desplegado los núcleos y muestras de canal lavada en la mesa de despliegue. Lo primero que se hizo fue localizar el intervalo de interés en las cajas, cada una de ellas se encuentra perfectamente identificada con el intervalo contenido en ella, el número del núcleo, el nombre del pozo y el número de la caja (**Figura 3.2 y 3.3**).



Figura 3.2 Cajas Contenedoras de Núcleos

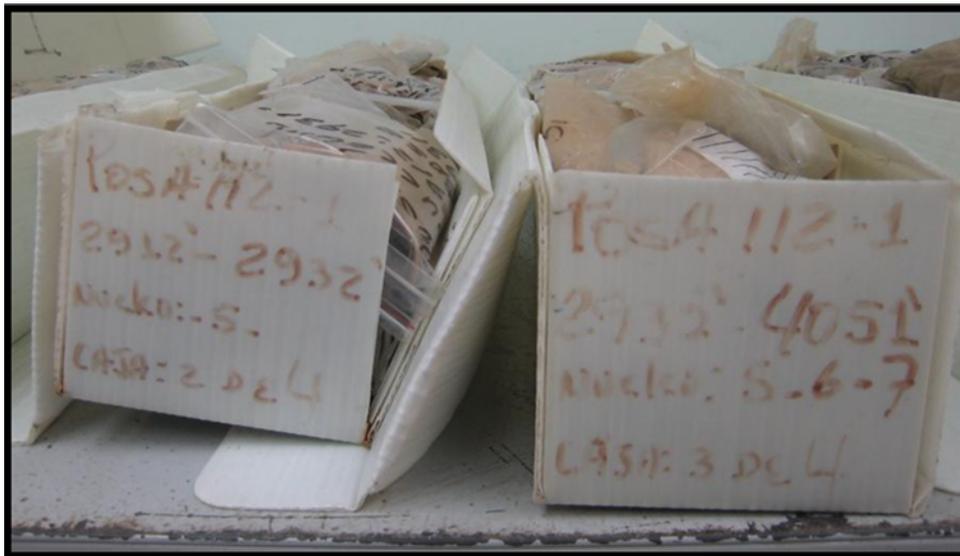


Figura 3.3 Identificación de las Cajas Contentivas de los Núcleos

Una vez finalizada la comprobación del núcleo y muestras de canal lavada en el intervalo seleccionado, se procedió a tomar la porción destinada para la realización prueba (**Figura 3.4**), posteriormente se colocaron la misma en bolsas plásticas debidamente identificada con la profundidad, arena y el pozo al cual corresponde la



muestra de núcleo seleccionada. (Figura 3.5), por ultimo debe colocarse el número de referencia para distinguirla de las demás con mayor facilidad.



Figura 3.4 Toma de muestra de los Núcleos



Figura 3.5 Muestras de los Núcleos debidamente Identificadas

3.5.1.2 Procedimiento detallado para el análisis granulométrico a través del tamizado electrónico.

- Se pesan 100 g de la arena en un envase previamente pesado y tarado.



- Se pesan los tamices vacíos y la bandeja de fondo, se tomará nota de cada uno de los pesos. Los tamices se ordenan de manera que el diámetro más grande de la rejilla quede arriba y el más pequeño abajo, colocando de último la bandeja.
- Los 100 g de arena se vierten sobre el tamiz superior y se introducen en un vibrador eléctrico por 15 min.
- Culminado el tiempo se pesan cada uno de los tamices y a cada valor se le restará el peso del tamiz vacío respectivo, este valor es el peso retenido en cada tamiz.
- Para obtener el peso acumulado tomaremos el primer peso retenido como el primer valor, luego le sumaremos el segundo peso retenido resultando el segundo valor, al que le sumaremos el tercer peso retenido y así sucesivamente.
- Luego se calcula el porcentaje en peso retenido sobre la base del total acumulado y el porcentaje en peso acumulado.
- Para finalizar se realiza una gráfica de distribución de tamaños de partículas con el porcentaje acumulado en peso en el eje “Y” y el tamaño de las mallas de los tamices en el eje “X”, preferiblemente en coordenadas semilogarítmicas.

3.6.- APLICAR LOS DIFERENTES METODOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS GRAVAS Y REJILLAS.

Para la aplicación los mecanismos de control de arena que involucren el uso de grava, se utilizan métodos para determinar el tamaño óptimo de grava y de las ranuras del liner que serán utilizados.

Los métodos existentes para calcular el tamaño óptimo de grava y aberturas de la rejillas son el método de Saucier, el método de Schwartz, el método de Hill,



el método de Coberly, el método Gumpertz y el método de Karpoff. De estos métodos los más utilizados en la industria son los de Saucier y Schwartz.

Para poder aplicar los métodos antes indicados, se realizaron análisis de laboratorio en INTEVEP. Estas prácticas cumplen con el objetivo de establecer la metodología necesaria para determinar el tamaño óptimo de grava y ranuras de liner respectivo al momento de la aplicación del método de control de arena que lo requiera.

3.7.- DEFINIR EL MECANISMO DE CONTROL DE ARENAS, ESTUDIANDO LOS DIFERENTES TIPOS DE MECANISMOS DE COMPLETACIÓN.

El mecanismo de control de arenas se definió estudiando las edades geológicas de los intervalos de completación de los pozos pertenecientes al Campo Posa y a continuación se presenta en la **Figura 3.6** cuales son los mecanismos de control de arenas a establecer en función del periodo de depositación de los estratos.

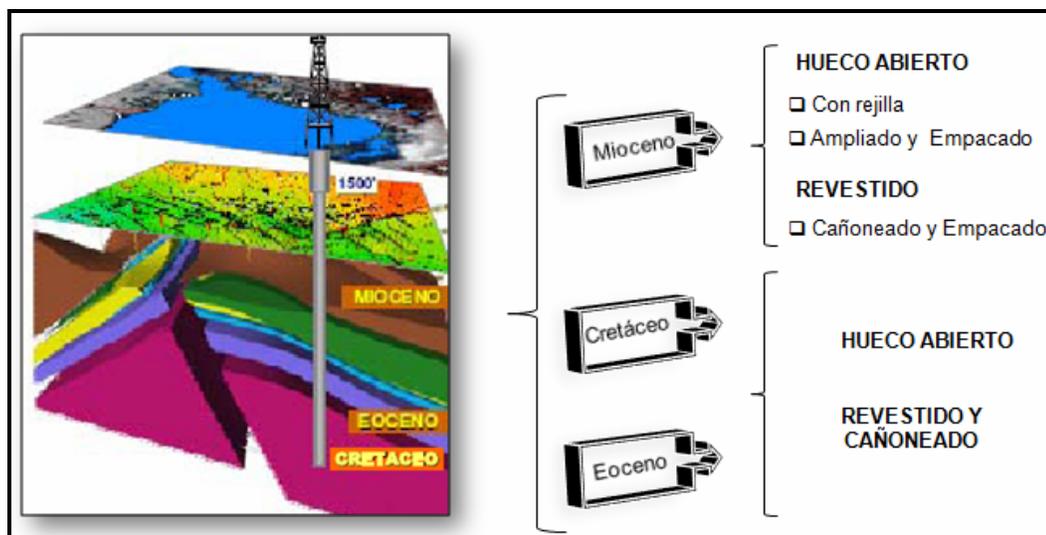


Figura 3.6.- Clasificación de los mecanismos de control de arenas en función de las edades geológicas.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el desarrollo de la metodología planteada para determinar la factibilidad de uso del diseño de empaque con grava en los problemas de arenamiento de los pozos del Campo Posa, se detectaron posibles causas de la producción de arena. Entre estos factores importantes se tienen los siguientes:

Factores naturales de yacimiento.

- Yacimientos someros y jóvenes.
- Poca cementación intergranular.

Factores derivados de la completación.

- La no existencia de un diseño para el control de arena durante las pruebas de producción.

La poca cementación intergranular aumenta el potencial de producción de arena de la formación, ya que las fuerzas necesarias para contrarrestar las fuerzas de arrastre generadas por la producción de fluido son muy bajas, ocasionando el desprendimiento y movilización de los granos de arena.

Otro aspecto fundamental que aumenta considerablemente el potencial de producción de arena de las formaciones, es la manera y cuan eficiente se realizó la perforación de los pozos y específicamente la perforación de la zona prospectiva, es decir, evitando menos daños a la formación para que no exista la interacción roca-fluido que pueda generar cambios químicos en la matriz de la roca que genere el desprendimiento de esta.



Los resultados de los análisis granulométricos fueron calculados en el presente trabajo basado en el Método de Saucier, según lo expresado en el marco teórico este método basa sus cálculos en el coeficiente de uniformidad (Cu) y que el control óptimo de la arena del empaque no es más de seis (6) veces mayor que el tamaño medio de los granos de arena de formación (D_{50}).

4.1 RECOPIRAR DATOS DE LOS POZOS EXISTENTES DEL CAMPO POSA DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.

En general, todos los pozos perforados en el Campo Posa, con la única excepción del pozo 115-2, encontraron arenas prospectivas en las formaciones La Pica y Las Piedras, de edades Mioceno Tardío al Plio-Pleistoceno. Estas arenas se encuentran a profundidades en el rango de 1.800 a 6.800 pies bajo el nivel del mar y contienen crudos que van desde 9,6 a los 22 grados API.

De la recopilación de los análisis sedimentológicos y bioestratigráficos de las muestras de canal y de núcleo correspondientes a los pozos del campo indicaron que desde el punto de vista sedimentológico, los intervalos se caracterizaron por presentar pseudoripios limo/arenosos, arcillas, areniscas de granos finos a muy finos, limonita y granos libres de cuarzo cristalino.

Desde el punto de vista bioestratigráfico se determinó que las edades para la sección perforada por el pozo Posa 112-1, pertenecen al intervalo Mioceno Medio al reciente (480'-2983'), Mioceno Medio (5090'-6620'), base del Mioceno Medio a tope del Mioceno Temprano (8180'-8280') y un último intervalo entre (10770'-10810') interpretado como Mioceno Temprano.



4.2 ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES DE LOS POZOS EVALUADOS A TRAVÉS DE LAS PRUEBAS DE POZOS.

Tabla 4.1 Problemas operacionales de los pozos del Campo Posa

Pozo	Arenamiento	Choke 64"	%A y S	Qo(BNPD)	°API	Observaciones
112 A-1	NO	16	0,1	782	19,2	Se bajo una completación de niple ranurada.
112 A-2	SI	16	0.6	198	16,4	Se bajo una completación de punta libre.
112 A-3	SI	16	0	70	-	Fluyo corto tiempo y deajo de producir. Inexistencia de mecanismo de control de arena.
112 A-4	SI	16	0	48	15,9	Taponamiento parcial ya que se bajo punta libre.
112 A-5	SI	18	12	53	19,4	En la completación no se encontró mecanismo de control de arena.
113-1A	SI	16	1,2	351	15,8	Se completo con sarta corta y larga. Produjo 100 % agua, se sospecha comunicación detrás del revestidor.
113-1B	SI	16	-	33	-	Problemas de arenamiento continuo
113-2	SI	24	30	331	-	Problemas de arenamiento continuo
117-2	SI	16	-	89	15,6	Taponamiento de tubería y reductor con arena.
Morro	NO	16	-	910	-	Produjo crudo pesado con arena. Completación con niple ranurado



Los pozos 112 A-1 y el Morro presentaron problemas operacionales relacionados con la producción de arena, en menor proporción que los demás pozos del campo, debido a que contaban en su completación con un niple ranurado.

El resto de los pozos pertenecientes al Campo Posa, los cuales se aprecian en la **tabla 4.1**, presentaron arenamiento continuo, taponamiento del reductor y de la tubería, entre otros, lo que se justifica con el hecho de haber sido completados con punta libre, sin considerar que durante las pruebas extendidas de flujo podrían presentarse problemas operacionales relacionados con la producción de arena.

Es importante destacar que para la fecha de 1958 la empresa no contaba con la tecnología necesaria para completar los pozos con mecanismos eficientes de control de arena, solo existía el niple ranurado que contrarestabla la producción de arena en los pozos, sin embargo el mismo era insuficiente.

Lo anterior permite jerarquizar la importancia que tiene la utilización de métodos para el control de arena, y lo más importante aun la utilización de un diseño de empaque con grava para los pozos del campo.

A continuación se presenta el comportamiento de producción de algunos de los pozos pertenecientes al Campo Posa:

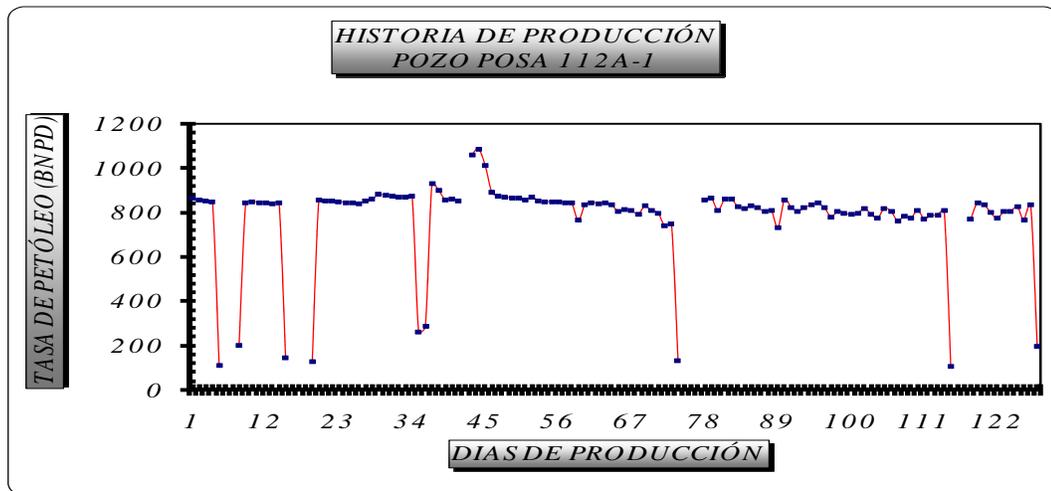


Figura 4.1 Comportamiento productivo del pozo 112-1

En la **Figura 4.1** se observa el comportamiento reflejado durante la prueba extendida de flujo del pozo 112-1, el mismo produjo durante 128 días continuos, la producción se mantuvo con una tasa promedio de 782 BNPD, existieron cierres programados con motivo de las caídas de las tasas de producción. Al día 128 se inicio nuevamente la prueba con unas tasa por debajo de la tasa promedio, esto debido al problema de arenamiento.

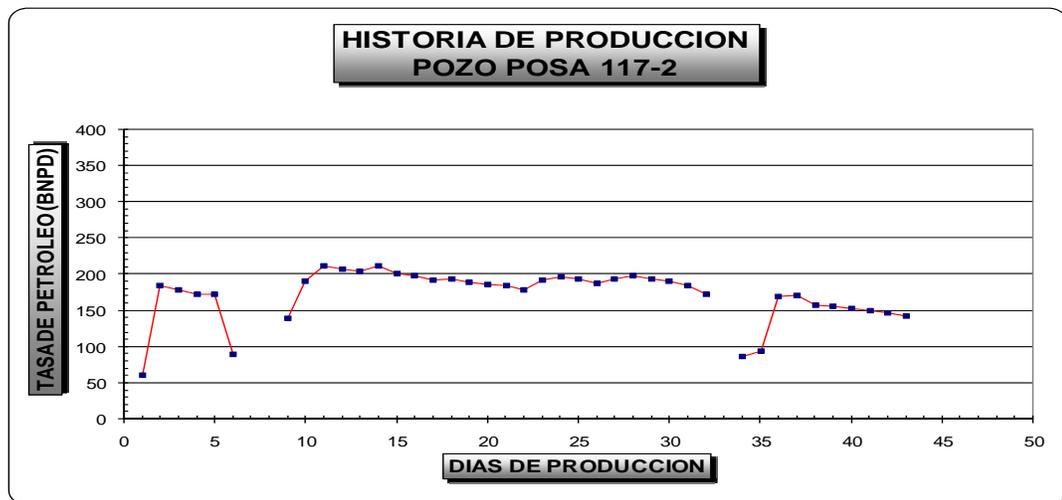


Figura 4.2 Comportamiento productivo del pozo 117-2



Al pozo 117-2 se le realizaron cinco (5) pruebas de pozos, las cuales tuvieron una duración promedio de 24 horas, en la cual la primera arrojó un promedio de 516 BNPD, y a medida que se realizaron el resto de las pruebas, la tasa de producción fue decayendo hasta alcanzar una tasa de 265 BNPD con tendencia a la baja, esta evidente caída está asociada al posible arenamiento del pozo.

Al pozo 40-1, se le realizaron tres (3) pruebas de pozo, durante la apertura se obtuvo buena respuesta inicial, la cual fue decreciendo gradualmente después de los 10 minutos de prueba, hasta que el pozo murió y fue abandonado, recuperándose durante estas pruebas 166 Bls de agua y 17 Bls de lodo.

4.3.- REALIZAR PRUEBAS DE GRANULOMETRÍA DE LOS NÚCLEOS TOMADOS EN LOS POZOS DEL CAMPO POSA PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE GRAVA A UTILIZAR.

El procedimiento de cálculo para el método de Saucier, es el siguiente, se construye el gráfico de distribución granulométrica, porcentaje (%) Acumulado en función de la abertura promedio en cada tamiz en micrones (μm). En la gráfica se determina el valor del percentil 50 (d_{50}) el cual representa al 50 % de los granos de formación según lo recomendado por Saucier.

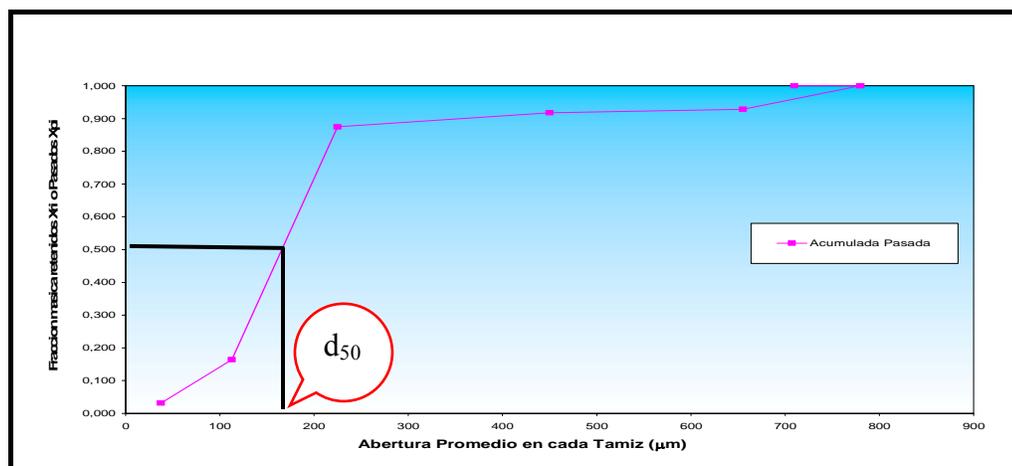




Figura 4.3 Distribución granulométrica para el pozo 112-1 (1089'-1097') del Campo Posa

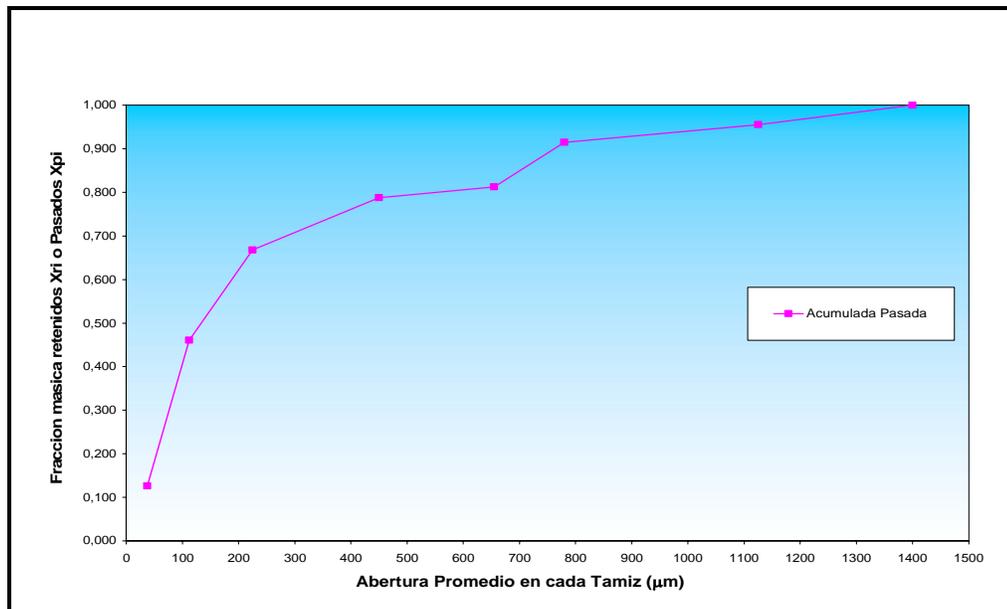


Figura 4.4 Distribución granulométrica para el pozo 112-1 (4069'-4077') del Campo Posa.

En la distribución granulométrica para el pozo 112-1 del Campo Posa (**Figura 4.3 y 4.4**), se pueden obtener los distintos percentiles necesarios para aplicar los distintos métodos existentes para el cálculo del tamaño de grava.

Tabla 4.2 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 112-1 en sus diferentes intervalos.



PERCENTILES	POSA 112-1 (1089'- 1097')		POSA 112-1 (4069'-4077')		POSA 112-1 (4140'-4144')	
	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG
d95	746,07	0,0029	1074,51	0,0042	1225,95	0,0483
d90	655	0,0025	761,62	0,03	1056	0,0416
d50	168,26	0,0066	133,7	0,0052	310,42	0,0122
d40	151,9	0,0059	98,84	0,0038	171,9	0,0067
d15	107,22	0,0042	42,87	0,0016	60,03	0,0023
d10	77,93	0,003	*	*	45,77	0,0018

Tabla 4.3 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 117-1 en sus diferentes intervalos.

PERCENTILES	POSA 117-1 (2880'- 3000')		POSA 117-1 (3960'-4500')		POSA 117-1 (4500'-4950')		POSA 117-1 (5730'- 5830')		POSA 117-1 (6000'-6210')	
	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG
d95	685	0,0269	*	*	697,77	0,0274	701,59	0,0276	*	*
d90	607,5	0,0239	300	0,0118	684,77	0,0269	693,18	0,0273	683,04	0,0269
d50	160,52	0,0063	157,49	0,0062	166,66	0,0065	354,42	0,0139	332,82	0,0131
d40	153,67	0,006	151,3	0,0059	156,06	0,0061	306,86	0,012	296,91	0,0116
d15	96,51	0,0038	93,72	0,0036	86,05	0,0033	139,97	0,0055	109,46	0,0043
d10	84,1	0,0033	82,09	0,0032	76,74	0,003	81,45	0,0032	91,45	0,0036

Tabla 4.4 Resultados de los diferentes percentiles del pozo 40-1 en sus diferentes intervalos.

PERCENTILES	POSA 40-1 (2100'- 2600')		POSA 40-1 (3500'-4010')		POSA 40-1 (4010'-4400')	
	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG	MICRONES	PULG
d95	705,18	0,0277	898,29	0,0357	889,12	0,035
d90	700	0,0275	894,57	0,0352	886,62	0,0349
d50	661,4	0,026	815,75	0,0321	809,62	0,0318
d40	590,23	0,0232	775,58	0,0305	706,89	0,0278
d15	173,64	0,0068	241,77	0,0095	247,25	0,0097
d10	157,7	0,0062	159,23	0,0062	187,11	0,0073



4.4.- APLICAR LOS DIFERENTES MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS GRAVAS Y REJILLAS.

A partir de los percentiles mostrados en las **Tablas 4.2, 4.3, 4.4** y aplicando los distintos ecuaciones para el cálculo del tamaño de grava (**Ecuación 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7**). Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.5 Resultados de los diferentes tamaños de grava del pozo 112-1 en sus diferentes intervalos.

METODOS	POSA 112-1 (1089'- 1097')		POSA 112-1 (4069'-4077')		POSA 112-1 (4140'-4144')	
	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
SAUCIER	0,036	16/30	0,0286	20/40	0,067	10/16
HILL	0,024	20/40	*	*	0,014	6/10
COBERLY	0,035	16/30	*	*	0,021	30/50
GUMPERTZ	0,033	16/30	*	*	0,020	30/50
KARPOFF	0,050	12/20	0,039	20/40	0,092	30/50
STEIN	0,017	30/50	0,0064	10/16	0,092	8/12

En la **Tabla 4.5**, se observan una variación en los tamaños de grava para los distintos métodos, esto debido a que cada uno de los mismos utiliza diferentes percentiles para el cálculo del tamaño de grava. En el intervalo (4069'-4077') no se tiene resultados para los métodos Hill, Coberly, Gumpertz. Esto se debió a que la grafica no cortó los percentiles D_{10} utilizados para el cálculo del tamaño de grava en estos métodos.

Para algunos percentiles (D) no se pudieron obtener los resultados mediante el grafico granulométrico.



Tabla 4.6 Resultados de los tamaños de grava del pozo 40-1 en sus diferentes intervalos

METODOS	POSA 40-1 (2100'- 2600')		POSA 40-1 (3500'-4010')		POSA 40-1 (4010'-4400')	
	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
SAUCIER	0,143	6/10	0,177	6/10	0,175	6/10
HILL	0,050	16/30	0,257	16/30	0,058	16/30
COBERLY	0,071	10/20	0,071	10/20	0,084	10/20
GUMPERTZ	0,036	12/20	0,068	12/20	0,080	10/20
KARPOFF	0,195	12/20	0,240	8/12	0,239	8/12
STEIN	0,028	20/40	0,038	16/30	0,039	16/30

Tabla 4.7 Resultados de los tamaños de grava del pozo 117-1 en sus diferentes intervalos

METODOS	POSA 117-1 (2880'- 3000')		POSA 117-1 (3960'-4500')		POSA 117-1 (4500'-4950')		POSA 117-1 (5730'- 5830')		POSA 117-1 (6000'-6210')	
	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
SAUCIER	0,035	16/30	0,034	16/30	0,036	16/30	0,076	10/16	0,072	10/16
HILL	0,026	20/40	0,026	20/40	0,024	20/40	0,026	20/40	0,029	20/40
COBERLY	0,038	20/40	0,037	20/40	0,035	20/40	0,037	20/40	0,041	16/30
GUMPERTZ	0,036	20/40	0,035	20/40	0,033	20/40	0,035	20/40	0,040	16/30
KARPOFF	0,047	20/40	0,047	20/40	0,049	20/40	0,104	20/40	0,098	16/30
STEIN	0,015	40/60	0,014	40/60	0,013	40/70	0,022	20/40	0,017	30/50

Por otra parte se tomó en cuenta el método de Schawartz que determina el coeficiente de uniformidad del grano (C_u), el cual implica que si $C_u \leq 3$ la arena es uniforme, si $5 < C_u < 10$ la arena es no uniforme, y si $C_u \geq 10$ la arena es extremadamente no uniforme, para esto se aplicó la relación entre el percentil d_{40}/d_{90} , resultados mostrados en las siguientes tablas:

Tabla 4.8 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 112-1



POSA 112-1	
INTERVALOS	Cu
1089'-1097'	0,2510
4069'-4077'	0,1267
4140'-4144'	0,1611

Tabla 4.9 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 40-1

POSA 40-1	
INTERVALOS	Cu
2100'-2600'	0,8436
3500'-4010'	0,8665
4010'-4400'	0,7966

Tabla 4.10 Coeficiente de Uniformidad de los granos para el pozo 117-1

POSA 117-1	
INTERVALOS	Cu
2880'-3000'	0,2510
3960'-4500'	0,5000
4500'-4950'	0,2268
5730'-5830'	0,4396
6000'-6210'	0,4312

Los granos de la arena de formación del pozo Posa 112-1, 40-1, 117-1 son uniformes, es decir, que el $Cu \leq 3$ para todos los intervalos del mismo (**Tabla 4.8, 4.9, 4.10**).

Por otra parte, el tamaño de las ranuras de las rejillas se determinaron a través de una relación 2/3 de la grava de menor tamaño comercial, según el percentil base (D_{50}), los resultados se observan en las **Tablas 4.11, 4.12, 4.13**.



Tabla 4.11 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1

POSA 112-1 (1089'- 1097')		POSA 112-1 (4069'-4077')		POSA 112-1 (4140'-4144')	
PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
0,015	45	0,011	50	0,031	20

Tabla 4.12 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1

POSA 40-1 (2100'- 2600')		POSA 40-1 (3500'-4010')		POSA 40-1 (4010'-4400')	
PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
0,053	14	0,053	14	0,053	14

Tabla 4.13 Calibre de las rejillas para el pozo Posa 112-1

POSA 117-1 (2880'- 3000')		POSA 117-1 (3960'-4500')		POSA 117-1 (4500'-4950')		POSA 117-1 (5730'- 5830')		POSA 117-1 (6000'-6210')	
PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH	PULG	MESH
0,015	45	0,015	45	0,015	45	0,031	20	0,031	20

Las tolerancias de fabricación para las aberturas de las rejillas son generalmente + 0.001” por encima del ancho requerido y -0.002” por debajo.

Estos calibres de las aberturas de las rejillas garantizará el no pase de los granos de grava a través de las rejillas ranuradas, debido a que son menores a los tamaños de grava que se emplean en los distintos intervalos del pozo.

4.4.1.- Resultados De Los Análisis De Microscopía Electrónica De Barrido (Meb) Correspondientes Al Campo Posa.

Tabla 4.14 Distribución granulométrica para el pozo del Campo Posa por Microscopía Electrónica de Barrido



Muestra	Diámetro Promedio		Tamaño de grano	Redondez y Esfericidad	Escogimiento
	Milímetros	Micrones			
1	1,1 - 1,5		Grano muy grueso	Sub angulares - angulares	Pobremente escogidos
2	0,9 - 1,4		Grano grueso a muy grueso	Sub angulares - angulares	Pobremente escogidos
3	0,8 - 1,4		Grano grueso a muy grueso	Sub ang. - sub redondeados	Pobremente escogidos
4		150 - 250	Grano fino a medio	Sub angulares - angulares	Moderadamente escogidos
5	1,6 - 2,6		Granulos	Sub ang. - sub redondeados	Moderadamente escogidos
6		100 - 200	Grano fino a muy fino	Angulares - sub angulares	Moderadamente escogidos
7		100 - 180	Grano fino a muy fino	Sub angulares - angulares	Pobremente escogidos
8		80 - 160	Grano muy fino a fino	Sub angulares - angulares	Pobremente escogidos
9		140 - 280	Grano fino a medio	Sub ang. - sub redondeados	Moderadamente escogidos
10		200 - 330	Grano medio a fino	Sub ang. - sub redondeados	Moderadamente escogidos
11		150 - 350	Grano fino a medio	Sub ang. - sub redondeados	Pobremente escogidos
12	0,8 - 1,2		Grano grueso a muy grueso	Angulares - sub angulares	Pobremente escogidos
13	0,6 - 0,9		Grano grueso	Redondeados - sub redondeados	Pobremente escogidos

La procedencia correspondiente a cada una de las muestra de la **Tabla 4.14**; está referenciada en la **Tabla 4.15**.

Tabla 4.15 Tamaños de grava por microscopía de electrónica barrido

Muestra	Tamaño de grava (Mesh)
1	*
2	*
3	*
4	16/30
5	20/40
6	20/40
7	*
8	6/10
9	6/10
10	20/40



11	30/50
12	*
13	*

(*) Valores fuera del tamaño de grava comercial según la **Tabla 2.1**.

Los valores de tamaño de grava obtenidos de la microscopía electrónica de barrido nos da un indicativo de manera referencial de dichos tamaños, por tal sentido existe una diferencia entre estos valores y los obtenidos a través del análisis granulométrico arrojado por la prueba de tamizador electrónico.



4.5. DEFINIR EL MECANISMO DE CONTROL DE ARENAS, ESTUDIANDO LOS DIFERENTES TIPOS DE MECANISMO DE COMPLETACIÓN

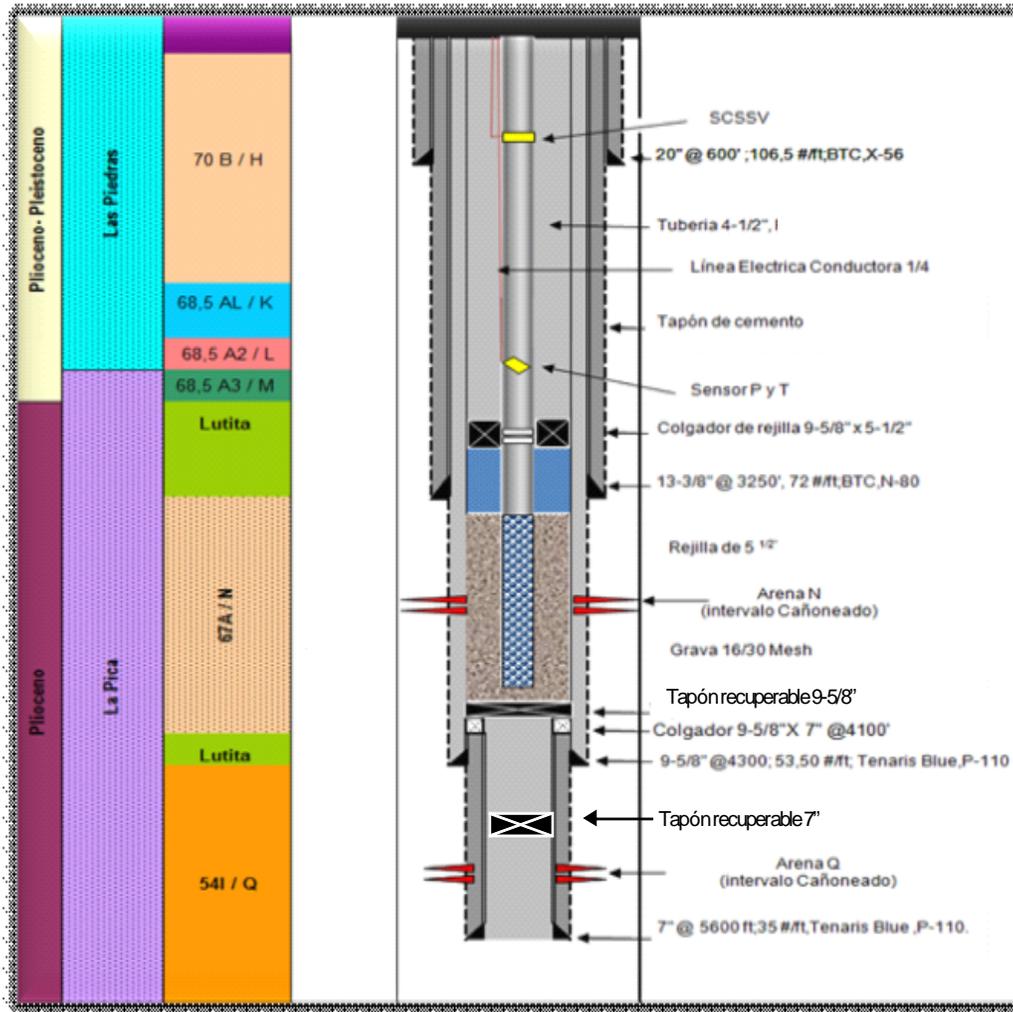


Figura 4.5 Diagrama Mecánico del Pozo Posa 112-1, Empacado con Grava

Luego de haber aplicados los diferentes métodos de gravas y rejillas, se procedió a analizar las formaciones a las que pertenecen los intervalos prospectivos del Campo Posa, determinándose que la formación Las Piedras y La Pica de edad Plioceno- Pleistoceno, lo que indica que son jóvenes y de poca consolidación.



Debido a lo anterior el mecanismo de control de arenas, más recomendable para el Campo Posa es el empaque con grava y rejillas.

4.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL EMPAQUE CON GRAVA CON EL SOFTWARE DE YACIMIENTOS (PIPESIM)

A través de la simulación realizada al pozo 112-1, fue posible obtener el comportamiento grafico de restricción de flujo de fluido presentado por este pozo de acuerdo al tipo de completación que posea el mismo.

En la **figura 4.6** es posible de apreciar el comportamiento de restricción de flujo, si el pozo no posee ningún mecanismo de control de arenas, el caso considerado fue el pozo 112-1 completado con punta libre, el mismo presento una presión de fondo de 2300 lpca.

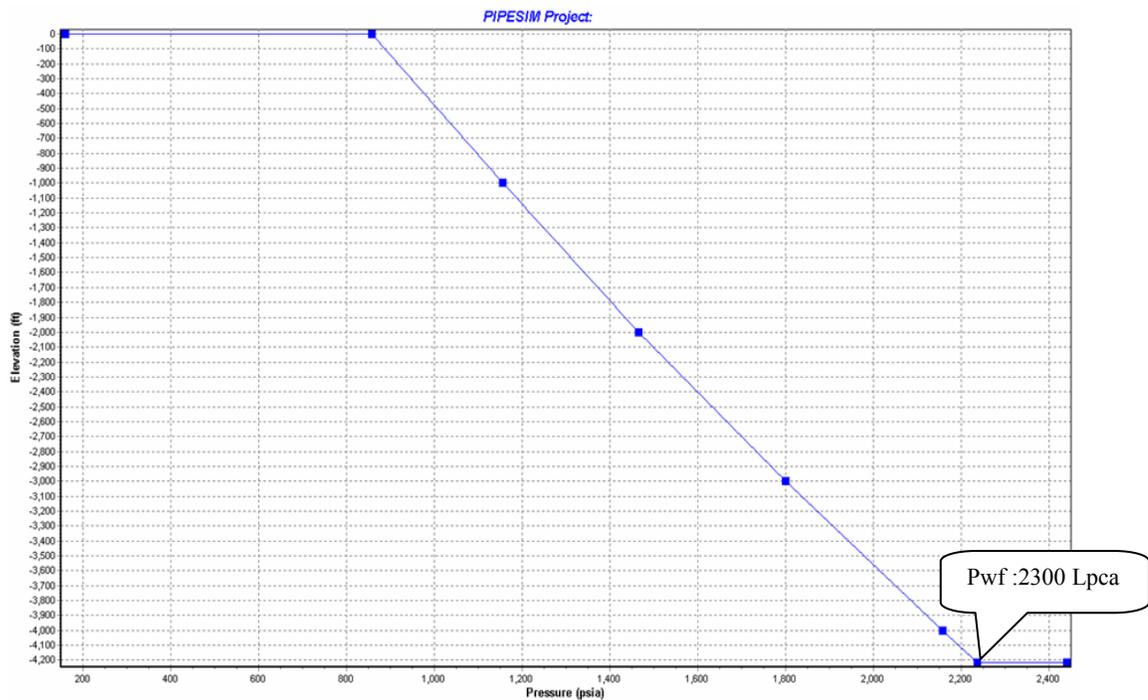


Figura 4.6 Caída de presión del pozo 112-1 sin empaque con grava



A través de las **Figura 4.7** fue posible constatar, que el pozo 112-1, arena 67A/N con una completación de Empaque con Grava presento una presión de fondo fluente de 2100 lpca, lo que genera una caída de presión mínima de 200 lpca como consecuencia de la restricción de flujo generada por el empaque, esto en comparación con un pozo punta libre, resultado que se considera exitoso y justifica la implementación de este tipo de completación como mecanismo de control de arena a los pozos del Campo Posa. De esta manera la empresa se ahorrara costos operacionales relacionados con el arenamientos de los pozos.

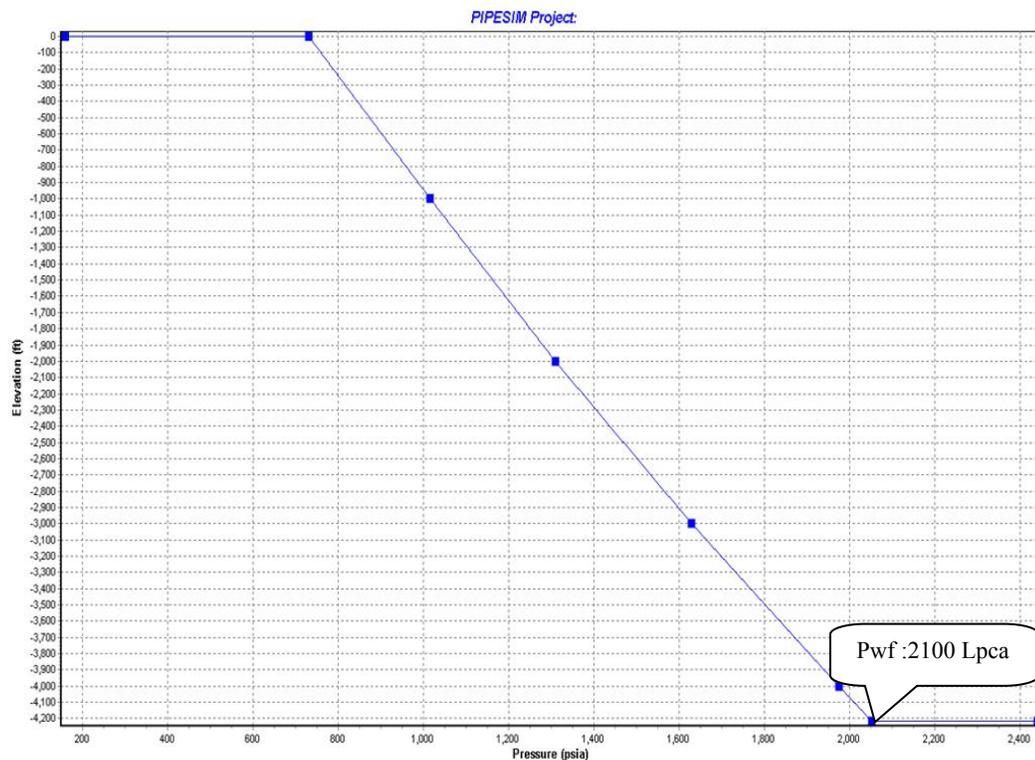


Figura 4.7 Caída de presión del pozo 112-1 con empaque con grava



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- El mayor problema operacional presente en el área de Posa, es el arenamiento acelerado de los pozos, a un tiempo aproximado de 80 días.
- Durante las pruebas extendidas de flujo, los pozos del Campo Posa no contaban con mecanismos de control de arena.
- El empaque con grava es el método de control de arena aplicable para el Campo Posa.
- La Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), permitió determinar el tamaño de los granos de la formación del Campo Poza.
- Los granos existentes en las arenas estudiadas presentan alta uniformidad.
- El diseño de empaque con grava tendrá alta efectividad y existirá una caída de presión de 200 Lpca en el fondo del pozo.
- El tamaño de grava a utilizar en el empaque, para el pozo 112-1, es de 16/30 Mesh.



RECOMENDACIONES

- Realizar una prueba de análisis granulométrico antes de cada implantación de un método de control de arena para cada bloque del área.
- Caracterizar granulométricamente las formaciones candidatas a aplicárseles empaque con grava.
- Diseñar y aplicar un programa de toma de muestras representativa de las nuevas localizaciones (núcleos) y las ya existentes, para así obtener una correcta caracterización granulométrica.
- Preservar en buen estado las muestras de arena, con el objeto de utilizarlas para estudios posteriores.
- Tomar esta metodología de estudio para futuros trabajos de completación del Campo Posa.



BIBLIOGRAFÍA

1. PDVSA E y P Costa Afuera. **“Informe de Ingeniería Básica de Perforación”** Venezuela (2009).
2. Osuna, R. **“Estudio del problema de arenamiento del miembro moreno de la formación oficina en los campos Santa Rosa y San Joaquín”**. Trabajo de grada. UDO. Departamento de Petróleo, Núcleo de Anzoátegui (2006).
3. Díaz, C y Cols. **“Diagnostico del problema de producción de arena y desarrollo de una metodología para la selección del método mas adecuado para su control en el área mayor de Socororo”**. Trabajo de grado. UCV. Departamento de Petróleo, Caracas (2002)
4. Hamoui, M. **“Análisis y jerarquización de los métodos utilizados para el control de la producción de arena del norte de Monagas”**. Trabajo de Grado. UDO, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Petróleo, Puerto La Cruz (1998).
5. PDVSA E y P San Tomé. **“Informe de control de arenas”** Venezuela (2000).
6. Tiffin, D y otros. **“Nuevos criterios para la selección de la grava y de pantalla para control de arena”** SPE 39437 (1998).
7. PDVSA-INTEVEP. **“Campos petrolíferos de Venezuela”**. (1997).



8. Pereira. O y Cols. **“Aplicaciones de la geomecánica en el análisis del arenamiento de pozos profundos”** Trabajo de Grado. UDO, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Petróleo, Puerto La Cruz (1994).

9. Blanco, M; Cols. **“Estudio de los factores que inciden en el arenamiento de pozos de petróleo en el OM-104, Campo oveja”**. Trabajo de Grado. UDO, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Petróleo, Puerto La Cruz (1978)

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Factibilidad de uso del diseño de empaque con grava para el control de arenas en los pozos del Campo Posa, Golfo de Paria.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / EMAIL
Salcedo Z., Jesús R.	CVLAC: 18510976 E MAIL: jesus1_salcedo@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Factibilidad, Diseño, Control, Pozos, Golfo de Paria.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	
	Ingeniería de Petróleo

RESUMEN (ABSTRACT):

Frente a los requerimientos de control de arena en las áreas operacionales de la corporación, PDVSA E y P Costa Afuera, se ha implementado una metodología integral para el diseño de empaque con grava para pozos con problema de arenamientos en el Campo Posa.

Esta metodología consta de fases que involucran diferentes campos de estudios: 1) el desarrollo de un modelo continuo de grano a lo largo de distintos intervalos de los pozos del Campo Posa (evaluación de la información del yacimiento, granulometría, entre otros); 2) el dimensionamiento del método de control de arena (empaque con grava); 3) revisión histórica de la producción y del desempeño de las completaciones usadas.

El uso de un modelo continuo de tamaño de grano en función de la profundidad permite determinar el dimensionamiento y el desempeño de los medios filtrantes con mayor precisión que las técnicas convencionales, por lo que resulta en una herramienta fundamental para el diseño de la completación de los pozos.

Como resultado de esta metodología se obtiene un abanico de opciones para la completación de los pozos, orientadas a optimizar la producción de arena y la productividad del pozo. Estas completaciones toman en cuenta aspectos como: diseño optimizado del método de control de arena (empaque con grava), entre otros.

En el desarrollo de este trabajo se detallan las fases de esta metodología y se presentan los resultados del Campo en estudio en el Oriente de Venezuela.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Asesor académico: Salas, Roberto.	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	3413775			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Asesor industrial: Romero, Eduardo.	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	14476688			
	E_MAIL	romeroeal@pdvsa.com			
	E_MAIL				
Jurado: Acosta, Félix.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	9272777			
	E_MAIL	acostafar@gmail.com			
	E_MAIL				
Jurado: Patiño, Rayda.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	11833699			
	E_MAIL	raydapatiño@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN

2011	11	25
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Factibilidad de Uso del Diseño.doc	Application / msword

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 reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“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 lo participara al consejo universitario”

Salcedo Z, Jesús R.

AUTOR

Ing. Salas, Roberto

ASESOR ACADEMICO

Ing. Romero, Eduardo

ASESOR INDUSTRIAL

Prof. Acosta, Félix

JURADO

Prof. Patiño, Rayda

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS