

## **Efectividad de las rejillas como equipo de control de arena en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra\***

**Alberto José Argüello Covarrubia**

Especialidad: Ingeniería geológica

Universidad Nacional Experimental (Venezuela).

**Resumen:** Se abordaron los elementos fundamentales que afectan el método de control de arena que se ejecuta en el campo de Lagunillas de PDVSA (Petróleo de Venezuela). Se identificaron los factores que afectan directamente a la rejilla como equipo de control de arena en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra, por lo que se minimizó la incidencia de los mismos para lograr alargar la vida útil del pozo; además se determinaron los tipos de granos de formación para seleccionar el equipo de control de arena a implementar en los pozos horizontales. Se realiza una valoración de la factibilidad técnica y económica en el uso de la rejilla pre-empacadas, como equipo de control de arena en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra.

**Palabras clave:** control de arena; campo Lagunilla Tierra; pozos horizontales; rejillas pre-empacada.

---

\* Trabajo tutorado por el Dr. C. José Quintín Cuador Gil.  
Recibido: 12 agosto 2016 / Aceptado: 30 marzo 2017.

## Effectiveness of grids as sand control equipment in the horizontal wells of the Lagunillas Tierra field

**Abstract:** The fundamental elements that affected the sand control method that was implemented in the Lagunillas field of PDVSA (Petróleo de Venezuela) were addressed. The factors directly affecting the grid were identified as sand control equipment in the horizontal wells of the Lagunillas Tierra field, which minimized their incidence in order to extend the useful life of the well; In addition the types of grains of formation were determined to select the equipment of control of sand to be implemented in the horizontal wells. An assessment of the technical and economic feasibility in the use of the pre-packaged grid, as a sand control equipment in the horizontal wells of the Lagunillas Tierra field is carried out.

**Key words:** sand control; field lagunilla land; horizontal wells; pre-packaged grids.

## Introducción

En el ámbito petrolero internacional el proceso de perforación en los pozos horizontales ha representado una alternativa frente a la convencional; esto es debido a que esta tecnología es considerada una herramienta de gran efectividad, la cual ha venido logrando, de una manera gradual, optimizar el recobro de hidrocarburos, así como alcanzar una mayor área de contacto con el yacimiento y, por consiguiente, con el fluido. Es importante la aplicación de una tecnología que incremente proporcionalmente la producción de tres a cinco veces, con respecto a un pozo vertical y direccional; además, permite reducir la problemática latente en cuanto al arenamiento, conificación de agua y de gas.

El 85 % de la producción petrolera que se origina a nivel mundial es obtenido a través de métodos convencionales, que abarcan la recuperación, tanto primaria como secundaria del hidrocarburo, lo cual, a su vez, garantiza porcentualmente un 35 % del recobro en el mismo (De Ferrer, 2001). De ahí surge la necesidad de la aplicación y desarrollo de métodos y técnicas que permitan aumentar el promedio de recobro ya que la mayor parte del hidrocarburo obtenido queda inmerso en la roca madre.

El arenamiento afecta considerablemente los campos petrolíferos de la zona. Algunos investigadores (González, Iturralde de Arozena & Cadillat, 1980; Torres, 2009) han estudiado este fenómeno en Venezuela, donde la aplicabilidad de nuevas técnicas y métodos han sido practicadas durante el proceso de recuperación del hidrocarburo en lo que se refiere al yacimiento, mediante la aplicación de proyectos destinados a optimizar el proceso de recuperación primaria y secundaria. Linares, González & Woyzechowsky (1999) realizaron unos ensayos geomecánicos con muestras de uno de los pozos del campo Lagunillas. Por su parte, Torres (2009) realizó la construcción del modelo geomecánico del yacimiento Lagunillas Inferior 07.

El objetivo de este trabajo es determinar los factores que establecen la efectividad de la rejilla como equipo de control de arena de los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra, con el propósito de incrementar su durabilidad a través de medios más idóneos. De esta forma, contribuye a la disminución en el tiempo de ejecución y, por ende, en el costo de producción para la empresa, lo que proporciona alternativas para solventar los inconvenientes de dicho proceso.

El campo Lagunillas se encuentra ubicado en la parte central de la unidad de explotación Tierra Este, pesado específicamente al este del lago de Maracaibo; posee un área total aproximadamente de 163 km<sup>2</sup>. El campo Lagunillas limita al oeste con la unidad de explotación Lagunillas Lago, al norte con el campo Tía Juana Tierra y al sur con Bachaquero Tierra. Se debe considerar que dicho campo produce petróleo principalmente de los yacimientos Lagunillas Inferior y Laguna, área en la cual está enfocado el estudio.

Este campo fue de los primeros en automatizar sus operaciones debido a las constantes pérdidas eventuales. El patio de tanques Lagunillas Sur recibe toda la producción bruta del campo Lagunillas, la cual es deshidratada y bombeada hacia el terminal de embarque puerto Miranda. El agua remanente del proceso de deshidratación es tratada químicamente e inyectada a tierra.

### **Materiales y métodos**

Se utilizó el módulo de Centinela Pozo, el cual facilita el control y seguimiento diario de los parámetros del comportamiento de producción de los pozos y mantiene la actualización de los datos históricos de sus pruebas y muestras. Consolida los resultados contables del resto de los módulos para realizar los balances oficiales de crudo y gas. Las opciones usadas fueron yacimientos y eventos y pruebas.

Las herramientas utilizadas fueron:

**OFM (Oil Field Manager):** herramienta de análisis de producción de pozos y manejo de yacimientos. Abarca un conjunto de módulos integrados que facilitan el manejo eficiente de los campos de petróleo y gas a través de sus ciclos de vida de exploración y producción. Incluye características de fácil manejo y visualización como lo son: mapas de base activo, reportes, gráficos, mapas grid y burbujas, registros eléctricos y análisis de curvas de declinación. Ofrece la flexibilidad para integrar datos de producción y yacimientos suministrados o generados por otras aplicaciones de Schlumberger (PDVSA 2005).

Esta aplicación permitió delimitar la población de pozos de este estudio, de forma que se pudiera observar su posición areal en el mapa de Lagunillas. Posibilitó, de igual manera, registrar los comportamientos de producción brutas durante la inyección de

vapor, realizar mapas de grillado mostrando las zonas más arcillosas, gráficos de comportamiento de producción, reportes con data de producción, entre otros.

**SIOP (Sistema de información de operaciones de producción):** posee una infinidad de aplicaciones relacionadas con los pozos existentes en los diferentes campos. Este paquete de computación fue creado por la empresa INTESA para PDVSA, y en él se puede observar gráficamente el comportamiento individual de los pozos por períodos de tiempo, estados mecánicos, estados de mangas, intervalos cañoneados, longitud de la línea de flujo y de gas lift. Esta herramienta permitió conocer el intervalo de completación de los pozos, información de tipo de tuberías utilizadas, entre otros.

**SISUBV (Sistema Integral de Subsuelo):** suministra información acerca de trabajos de subsuelo que se realizan a los pozos. Brinda toda la información referente a los trabajos ejecutados, suspendidos, cancelado y en ejecución que se llevan del subsuelo, como por ejemplo, cambio de válvulas, cambio de zonas productora, trabajos de HUD (registros de fondo), toma de registros, limpiezas químicas, limpiezas mecánicas, bombeo de químicas, inyección de vapor, solventes, entre otros.

**COPYR:** permite consultar la base de datos oficial de PDVSA (DIMS). Mejora el flujo de trabajo para los usuarios, aumentando la productividad y optimizando el manejo de los datos, mediante la generación de reportes, tales como los tiempos productivos y no productivos; además, agiliza la toma de decisiones en las actividades diarias de exploración y producción de la división.

**GEOGRAPHIX DISCOVERY V-2007.1:** Es un sistema completo de interpretación basado en Microsoft Windows para la evaluación y manejo de datos de tierra, sísmicos y de pozos. Pueden integrarse varios módulos, herramientas y aplicaciones para que un equipo de desarrollo o exploración pueda trabajar juntos para organizar, examinar, filtrar e interpretar fácilmente datos sísmicos y de pozos.

### **FASE I: Evaluación del comportamiento de producción de arena de los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra**

Se evaluó la información correspondiente a una muestra de 25 pozos horizontales pertenecientes al campo Lagunillas Tierra, los cuales actualmente se encuentran inactivos por diferentes fallas. La finalidad era determinar, de forma más idónea, los

problemas más comunes que presentaron dichos pozos a lo largo de su vida productiva y que los llevó a su estado de inactividad.

Tabla 1. Clasificación de la inactividad de los pozos

Categoría	Significado	Cantidad de pozos
3	En espera de reparación mayor	20
5	Esperando abandono	3
9	Abandonados	2
Total de pozos		25

Después de haber realizado la ficha técnica para cada pozo, se analizaron de manera específica, determinando las posibles fallas que los llevaron a su estado actual de inactividad y, a su vez, se evaluó su longevidad de producción.

Las fallas fueron clasificadas en cuatro categorías, tomando en cuenta la frecuencia en la que se presentaron, entre ellas tenemos: Arenamiento, colapso o rotura del liner (Rejilla) y, por último, otras fallas (que agrupan todos aquellos problemas que no tuvieron tanta repetitividad), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Fallas por pozos

No	Pozo	Bloque	Vida(años)	Problema
1	LS 5602	T-5	0,6	Arenado
3	LS 5746	U-7	1,4	Arenado
4	LS 5262	V-5	1,5	Arenado
5	LS 5472	R-5	1,7	Arenado
6	LS 5599	S-5	1,7	Arenado
7	LS 5268	R-5	1,8	Arenado
8	LS 5364	T-5	2,6	Arenado
9	LS 5250	R-5	2,8	Arenado
11	LS 5553	R-4	3,6	Arenado
12	LS 5375	S-6	3,7	Arenado
13	LS 5454	S-7	3,7	Arenado
14	LS 5565	T-4	3,8	Arenado
15	LS 5306	T-5	4	Arenado
16	LS 5385	S-5	4,2	Arenado
17	LS 5498	X-5	4,3	Arenado
18	LS 5340	S-5	4,5	Arenado
22	LS 5310	U-5	8,5	Arenado
23	LS 5335	T-5	8,8	Arenado
24	LS 5273	V-5	9,8	Arenado
25	LS 5395	V-7	10,7	Arenado
2	LS 5600	T-5	1,3	Colapso Liner
20	LS 5399	T-6	6,6	Colapso Liner
10	LS 5365	V-7	3,3	Rotura Liner
19	LS 5304	U-5	6,4	Rotura Liner
21	LS 5541	R-4	7,2	Rotura Liner

Los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra son diseñados para 20 años de explotación, sin embargo, en la Tabla 2 se puede apreciar que no sobrepasan los 14 años. Más de la mitad pasan a estado de inactividad antes de cumplir 6 años de

productividad. El punto más crítico es en los primeros 2 años donde la cuarta parte de los pozos fallan por arenamiento prematuro.

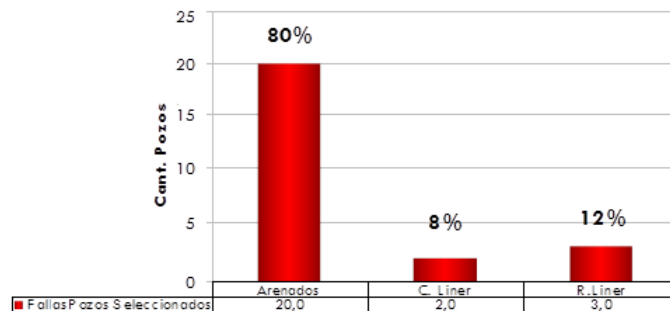


Figura 1. Grafico porcentual de fallas, frecuencia en los pozos horizontales categoría 3,5 y 9 del campo Lagunillas Tierra.

La Figura 1 muestra que un 80 % de los pozos ha sido cerrado por presentar problemas frecuentes de arenamiento, un 8 % por presentar colapso de liner y el 12 % restante por roturas del liner. Esto permite determinar que se presenta problemas frecuentemente originados por fallas en las rejillas, lo cual demanda una revisión a fondo de lo que le ocurre a este equipo de control de arena durante la vida productiva del pozo y qué factores afectan su rendimiento.

Los colapsos y roturas en el liner de producción evidencian que la rejilla no está diseñada para soportar las condiciones del pozo, ya sea por la inyección alternada de vapor a la que es sometida o debido a que no son tomados los esfuerzos geomecánicos de la formación.

## **FASE II: Estudio de los factores involucrados en la reducción de la eficiencia del equipo de control de arena de los pozos horizontales**

Se evaluó la efectividad de las rejillas pre-empacadas usadas en el campo Lagunillas Tierra ante la presencia de factores que normalmente deterioran los equipos de control de arena, con el fin de validar hasta qué punto se ve disminuida la vida útil de estos equipos. Entre los factores predominantes aparecen: la presencia de arcilla en las arenas navegadas por los pozos horizontales, la constante inyección de vapor a la que son sometidos y la construcción del equipo de control de arena. A continuación, se presentan los resultados de dichos análisis.

## Factor navegación

### Dirección de los pozos horizontales

Los pozos horizontales, por su geometría, deben ser construidos para que los liner de producción (rejillas) naveguen en dirección a los esfuerzos máximos y, de esta forma, evitar un colapso prematuro de dichos liner. Sin embargo, en el campo Lagunillas esta disposición es muy desordenada y no existe un estudio que indique cuál es la dirección que deben seguir los pozos horizontales.

No se encontraron datos que permitieran determinar la dirección de los esfuerzos presentes en la zona, puesto que los registros caliper realizados a los pozos del campo no son muy avanzados. Aun así, se puede decir que un porcentaje de estos pozos son perforados en dirección a los esfuerzos mínimos y un ejemplo claro de esto es el pozo LS-5706 (Tabla 2), el cual sufrió un colapso de forma prematura al cumplir 1,4 años de actividad.

### Longitud y espesor

En esta fase se evaluó cómo son afectadas las rejillas ante la presencia de arcilla; para ello se revisaron los registros de litología, la longitud de la sección horizontal, los espesores y las arenas navegadas por los pozos. A continuación, se muestra una tabla donde se resumen estas características:

Tabla 3. Arena, longitud y espesor de arena navegada por los pozos horizontales

Pozo	Vida (años)	Arena	Longitud	Espesor
LS 5602	0,6	N/A	N/A	N/A
LS 5600	1,3	Arena A	1 182	173
LS 5746	1,4	Arena A	1 373	171
LS 5262	1,5	Arena A	1 224	178
LS 5599	1,7	Arena A	1 006	173
LS 5472	1,7	Arena A	774	178
LS 5268	1,8	Arena A	1 650	175
LS 5364	2,6	Arena A	802	172
LS 5250	2,8	Arena A	1 279	173
LS 5365	3,3	Arena A	653	170
LS 5553	3,6	Arena A	1 162	175
LS 5454	3,7	Arena C	1 148	153
LS 5375	3,7	Arena A	866	162
LS 5565	3,8	Arena A	1 193	160
LS 5306	4	Arena A	1 126	172
LS 5385	4,2	Arena A	938	169
LS 5498	4,3	Arena B	1 008	155
LS 5340	4,5	Arena A	899	131
LS 5304	6,4	Arena A	1 214	170
LS 5399	6,6	Arena A	998	162



LS 5541	7,2	Arena A	1 240	155
LS 5310	8,5	Arena A	704	168
LS 5335	8,8	Arena A	1 121	180
LS 5273	9,8	Arena A	1 141	170
LS 5395	10,7	N/A	N/A	N/A
Promedio	4,34	Arena A	1073,52	167,17

La Tabla 3 muestra que la mayoría de los pozos horizontales navegan en la "arena A", la cual posee un espesor promedio de 168 pies, así mismo estos pozos son de radio corto, pues su longitud en la sección horizontal está alrededor de los 1 158 pies. Se determinó que no existe relación alguna entre la eficiencia de la rejilla respecto a la longitud y el espesor de las arenas navegadas.

### **Arcillosidad**

Para esta fase se revisaron algunos de los detalles respecto a los registros litológicos y se compararon con la zona en la cual fueron colocadas las rejillas, a fin de determinar el efecto de la arcillosidad a las rejillas. El resultado fue el siguiente:

### **Pozo LS-5553**

Muestra cómo la rejilla se expone a dos zonas altamente arcillosa, una ubicada después del colgador, con una longitud alrededor de 300', y otra ubicada al final de la rejilla con una longitud de 400'. A este pozo se le han realizado limpieza por problemas de arenamiento y en el proceso se encontraron grandes cantidades de fino, algo explicable al observar su registro litológico; actualmente se encuentra esperando una reparación mayor por poseer graves problemas de arenamiento. Se evidencia la influencia de la arcilla en las rejillas, la cual está presente en la mitad de esta; por ende se puede decir que es causante de la reducción de la vida productiva del pozo a tan solo 3,6 años.

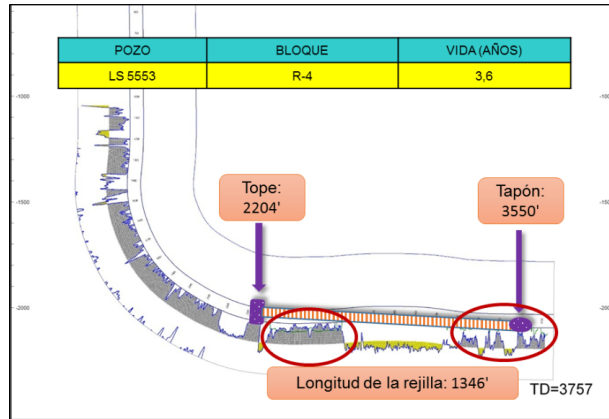


Figura 2. Registro litológico pozo LS-5553 con rejilla.

**Pozo LS-5364**

De modo similar, la mala navegación comprometió la vida productiva del pozo LS-5364. Si se observa en la Figura 3 la rejilla está en contacto con la superficie del intervalo arcilloso. Actualmente está inactivo ya que se arenó hasta la altura de la bomba de subsuelo, donde su vida productiva solo alcanzó los 2,6 años.

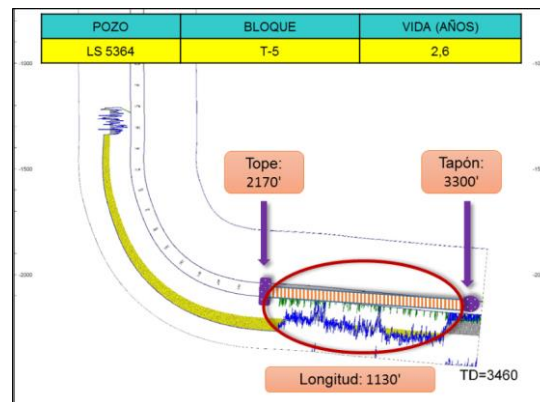


Figura 3. Registro litológico pozo LS-5364 con rejilla.

**Pozo LS-5472**

En el registro litológico del pozo 5472 se tiene una zona arcillosa de 200 pies después del tope de la rejilla, con una longitud de 300 pies (Figura 4). Se puede concluir que esta zona arcillosa selló el fondo del pozo de forma prematura a los 1,7 años de producción. En los trabajos se detectaron dos limpiezas: una con tubería flexible y otra con química, las cuales no tuvieron éxito, lo que originó el abandono del pozo.

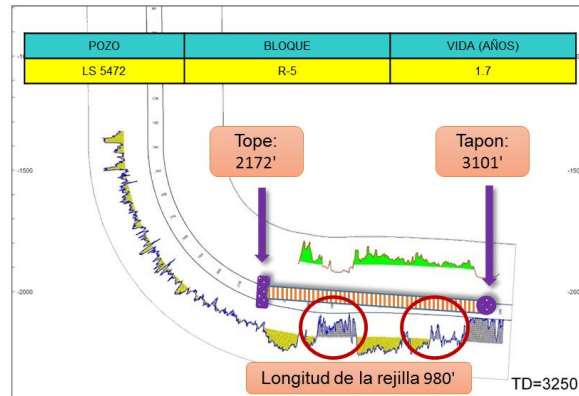


Figura 4. Registro litológico pozo LS-5472 con rejilla.

### Factor inyección alternada de vapor (IAV)

Con el objeto de comprender qué ocurre con las rejillas después de la inyección de vapor a los pozos se revisaron los registros de producción bruta de crudo en el momento de la culminación de un ciclo de inyección alterna de vapor, midiendo de esta manera sus caudales. Todo ello con el fin de relacionar dichos caudales con posibles fallas en la rejilla, verificándose si después de estos mismos ciclos existían trabajos o reparaciones relacionadas con fallos en la rejilla o, en su defecto, con arenamiento.

Tabla 4. Producción bruta de los pozos luego de la inyección alterna de vapor

Pozo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
LS 5310	934	974	914	255	856	
LS 5565	1 305	812	146			
LS 5250	1 357	1 038	165			
LS 5364	1 450	1 104	95			
LS 5602	713					
LS 5262	1 000	436				
LS 5541	1 165	896				
LS 5454	515	981	977			
LS 5599	1 151					
LS 5472	332					
LS 5395	1 570	1 570	1 416	1 307	142	124
LS 5361	2 037	1 340				
LS 5306	1 279	981	133			
LS 5385	1 587	744				
LS 5600	1 998					
LS 5304	1 852	1 134	292	159		
LS 5399	311	582	310			
LS 5375	956	1 054	994			
LS 5335	532	422	74	282	438	
LS 5273	60	476	1 002	264		
LS 5365	166	1 032	729	214		
LS 5268	1 275	760				
LS 5553	1 197	936				
LS 5498	816	452				
LS 5746	230					
LS 5340	960	1 208	897			
Promedio	1 028,8	901,5	581,7	413,5	478,7	124

Durante los primeros dos ciclos de IAV, el caudal promedio de estos pozos se ubicó por encima de los 1 000 barriles, esto representa un problema para los pozos ya que en formaciones no consolidadas el caudal que se debe manejar para evitar la producción de arenas y finos es de 750 barriles. De esta manera, debemos recordar que las rejillas tienen la capacidad de retener la arena proveniente de la formación, pero al tratarse de finos estos van a travesarla con facilidad y sumados a la alta velocidad de producción que tienen los pozos después de la IAV, estos finos erosionarían el equipo de control de arena, dando cavidad al paso de granos de arena. A este fenómeno se le conoce como formación de puntos calientes en el equipo de control de arena, producto del paso de finos a alta velocidad.

### Construcción de la rejilla

En las fases anteriores se demostró cómo la rejilla es afectada por la presencia de arcilla y por los cambios de temperatura producto de la inyección alternada de vapor. A fin de comprender más detalladamente por qué dichos factores degradan a la rejilla usada actualmente se le realizó un análisis a los componentes que la conforman y se evaluó si son los indicados para soportar las condiciones del campo Lagunillas Tierra. A continuación se resume la información obtenida de las rejillas usadas en estos pozos.

Las rejillas utilizadas en los pozos horizontales son pre-empacadas, con el fin de proporcionar un mejor filtrado; sin embargo, estas rejillas no son recomendadas para pozos horizontales debido a que en su construcción, tanto la malla interna como la externa, se colocan como una chaqueta soldada solamente en los extremos del tubo base. Estas soldaduras, a pesar de que sean bien hechas, pudieran despegarse durante el proceso de corrida de la rejilla en la sección horizontal, por los esfuerzos de fricción que allí ocurren (Figura 5).



Figura 5. Anatomía de las rejillas pre-empacadas. Fuente: DELTA ESCREEN 2015.

Por otra parte, la grava recubierta de resina y consolidada podría agrietarse mientras se empuja a través de los grandes ángulos de inclinación del pozo o sufrir daños, ya que su integridad se ve comprometida al ser sometida a diferentes ciclos de inyección.

### Fluidos provenientes de la formación

En esta fase se realizaron pruebas de viscosidad, gravedad api, fisicoquímicas del crudo y de contenido de sólidos, para comprender cómo afecta el fluido a las rejillas.

### FASE III: Determinar el tipo de grano de formación para seleccionar el equipo de control de arena a usar en los pozos horizontales

Se realizó un análisis granulométrico de manera global, es decir, compaginando los cinco análisis granulométricos individuales de los pozos estudiados, para así obtener un equipo de control de arena óptimo para el campo Lagunillas Tierra. Sin embargo, una vez obtenido el diseño global se comparó el mismo con los pozos analizados, de forma individual, con la finalidad de mejorar el diseño final.

### Análisis granulométrico global

Se realizaron análisis granulométricos existentes en el campo Lagunillas Tierra, con el fin de determinar el equipo de control de arena más adecuado para el tamaño y tipo de grano presente en las arenas navegadas. Al mismo tiempo, se tomó en cuenta el origen de las muestras obtenidas para posteriormente clasificar los análisis en dos categorías: los de origen convencional o directamente del núcleo y los obtenidos mediante Coiled Tubing.

Se realizaron estudios de análisis granulométricos a muestras secas tomadas de dos pozos horizontales del bloque R-4, siendo necesario destacar que en el campo existen más análisis granulométricos de origen convencional y de muestras de canal. No obstante, no fueron usados, ya que las mismas son muestras tomadas en profundidades distintas a la arena de interés navegadas por los pozos horizontales.

Tabla 5. Clasificación de las muestras sometidas a análisis granulométricos

Pozo	Pozo tipo	Arena	Origen	Bloque	Tipo de análisis
LS-5472	Horizontal	Arena A	Coiled Tubing	R-4	Tamizado
LS-5599	Horizontal	Arena A	Coiled Tubing	S-4	Tamizado
LS-5306	Horizontal	Arena A	Coiled Tubing	T-5	Tamizado
LS-5399	Horizontal	Arena A	Coiled Tubing	T-6	Tamizado
LS-5365	Horizontal	Arena A	Coiled Tubing	V-7	Tamizado
LS-5541	Horizontal	Arena A	Canal	R-4	Láser
LS-5553	Horizontal	Arena A	Canal	R-4	Láser

Se consideró el origen de las muestras de los análisis granulométricos, determinándose que para seleccionar el equipo de control de arena se usarían solo los análisis granulométricos de origen convencional y por muestra de canal que fueron suministrados por la empresa de servicio. Se pudo observar que durante el proceso de Coiled Tubing la arena obtenida para el muestreo es sometida a altas velocidades y presiones, lo que provoca rupturas o disminución del tamaño del grano; sin embargo, dichos análisis pueden ser tomados para diseñar la apertura o malla del equipo de control de arena, teniéndose en cuenta un margen de incertidumbre.

El equipo de control de arena recomendado para el campo Lagunillas Tierra debe ser "empaque con grava a hoyo abierto o rejilla expansible". Por otra parte, se consideró otro factor, como los análisis granulométricos realizados por el método del tamizado tienden a generar un margen de error que va de 1 % al 5 %, este tiene una alta tendencia al uso de rejillas de malla metálicas o Premium y no puede ser considerado como conclusivo para ser usado en todo el campo. Esto se corrobora al ver que las rejillas de mallas metálicas son preferenciales para arenas medias y finas (como la predominante en los análisis) y las rejillas expansibles o empaques a hoyo abierto se usan para zonas con alto contenido de limos y arcillas, pero no son recomendados para el campo debido a la naturaleza horizontal de los pozos y a su baja presión.

#### **FASE IV: Evaluación técnica y económica de la rejilla y determinación de la eficiencia como equipo de control de arena mediante simulaciones**

Se realizó la simulación de la completación para el equipo de control de arena propuesta para el campo Lagunillas Tierra. El análisis de este sistema se efectuó a través del programa PIPESIM, donde se evaluó el éxito en la retención y producción de arena y si permite el flujo de los fluidos de formación a través de la misma. El diseño y el asentamiento de la rejilla multifiltro prolongan la vida productiva de los pozos, mediante la retención eficaz de la arena.

Los parámetros utilizados para efectuar las simulaciones fueron: presión inicial y actual, gradiente de fractura, gradiente de poro, presión estática de fondo medida, presión de yacimiento, presión de burbuja, profundidad promedio, permeabilidad efectiva, horizontal y vertical, °API del petróleo, viscosidad, diámetro del revestidor, gravedad específica del agua y del gas, radio de drenaje, propiedades del fluido de

completación, orientación, daño de formación, salinidad del agua de formación, profundidad total de pozo modelo, relación gas petróleo, entre otras.

Para evaluar los efectos de la aplicación de la nueva rejilla se analizó el sistema bajo dos condiciones: primero sin considerar la restricción de la rejilla actual y luego tomándola en cuenta. Los resultados mostraron la verdadera tasa de producción y la real caída de presión a través de la nueva completación; del mismo modo, se compararon los valores de los caudales obtenidos con los actuales, a fin de verificar los resultados. Por consiguiente, se realizó otra simulación donde el pozo sale de la inyección alternada de vapor, debido a que es el punto donde se presentan las mayores tasas de producción.

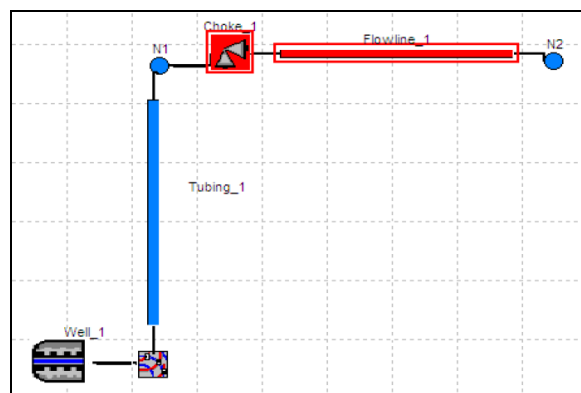


Figura 6. Diagrama nodal del pozo.

Del igual forma, se elaboró el análisis nodal del pozo candidato con el fin de modelar el comportamiento del mismo y realizar comparaciones con respecto a la producción actual y la que se espera obtener con la aplicación de la nueva rejilla, a través del cual se determinará en cuánto se vería afectada la producción con la aplicación del método planteado. Esta fue realizada mediante el programa PIPESIM.

Para la predicción del comportamiento en cada uno de los componentes del sistema se obtuvo la caída de presión en cada uno de ellos. Para la obtención de las caídas de presión se asignaron nodos en diversos puntos importantes dentro del sistema de producción. En el sistema de producción se consideró la presión estática del yacimiento ( $P_{ws}$ ) 1 000 psi; teniendo la presión en este nodo, se determinaron las caídas de presión en algún punto intermedio. Por otra parte, el software permitió generar un gráfico IPR, el cual se obtuvo a partir de las condiciones actuales del yacimiento y las propiedades del crudo bajo la inyección de vapor.

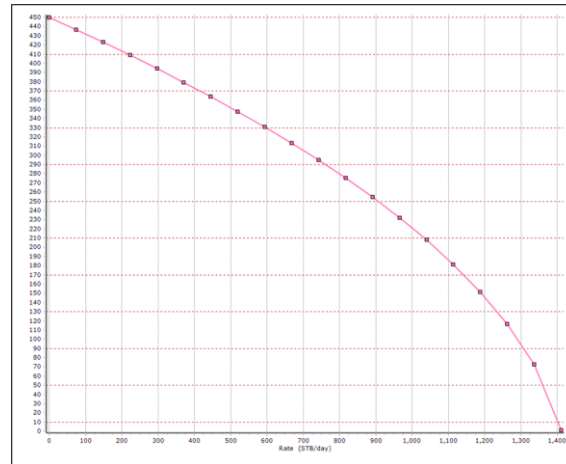


Figura 7. Curva IPR.

Los resultados obtenidos del análisis del sistema permiten la definición de la capacidad de producción de los pozos para determinadas condiciones y muestran cómo los cambios en cualquier parámetro afectan su comportamiento. Las curvas de capacidad de producción revelan la función de los principales componentes de un sistema, como son: datos del yacimiento, presión en el nodo inicial y final, producción de petróleo, gas y agua, temperatura, composición del petróleo y gas, forma de perforación del pozo (en este caso horizontal).

La curva del índice de productividad del yacimiento muestra una producción de 972 barriles usando la rejilla actual y una producción de 965 barriles con el diseño propuesto. La producción calculada está basada en datos reales obtenidos del yacimiento a una temperatura de 520 °F, ya que es la temperatura del pozo una vez que este acaba de salir de un proceso de inyección de vapor.

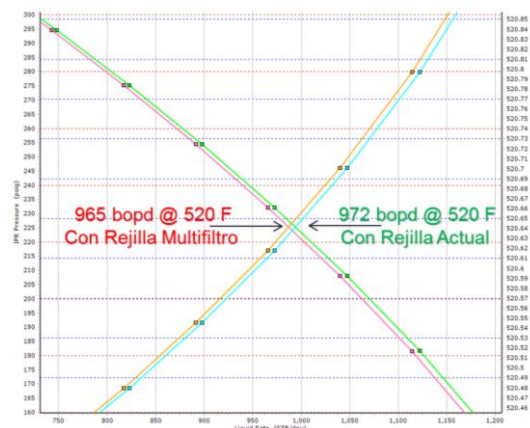


Figura 8. Comportamiento de producción con la rejilla actual (curva azul) y la propuesta (curva amarilla).



En la Figura 8 se puede validar el éxito de la simulación. El programa, usando la rejilla actual, arroja caudales similares al promedio obtenido de los pozos horizontales del campo tras salir de la inyección de vapor. También se muestra cómo la variación de producción es mínima al cambiar de método de control de arena; si comparamos la producción de la rejilla actual (ya sea la real o la emulada), con la obtenida con la rejilla multifiltro, tenemos una diferencia en producción menor al 5 %.

A través de esta simulación se demostró que el método propuesto en esta investigación no causa mayor restricción en la tasa de producción de crudo, el cual mostró una tasa diferida de 48 barriles (siete barriles si se toma la producción emulada). Se comprueba entonces su aplicabilidad en la zona en estudio, ya que la caída de producción es mínima con respecto a la tasa esperada del pozo con método de control actual. La gran ventaja que ofrece este método es que alarga la vida productiva de los pozos del área, a la vez que disminuye, en gran medida, las intervenciones para realizar limpiezas, por lo que, de esta forma, se reducen los costos por mantenimiento.

### **Conclusiones**

Se identificaron tres factores que afectan directamente a la rejilla como equipo de control de arena en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra:

- a) Factor navegación (dirección de los pozos horizontales, longitud & espesor y arcillosidad)
- b) Factor inyección alternada de vapor (IAV)
- c) Fluidos provenientes de la formación.

Se determinaron los tipos de granos de formación para seleccionar el equipo de control de arena óptimo a implementar en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra.

Se consideró la factibilidad técnica y económica en el uso de la rejilla multifiltro, como equipo de control de arena en los pozos horizontales del campo Lagunillas Tierra. Para ello se utilizaron simuladores que arrojaron como resultados parámetros que proporcionaron un análisis técnico-económico, que posteriormente se traduce en costo asociado.

**Referencias bibliográficas**

DE FERRER, M. P. 2001: *Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos*. Ediciones Astro Data SA, Maracaibo.

GONZÁLEZ, J. C.; ITURRALDE DE AROZENA, J. M. & CADILLAT, X. P. 1980: *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas.

INFORME TÉCNICO - PDVSA - CIED. (2005) Control de Arena.

LINARES, J. A.; GONZÁLEZ, H. & WOYZECHOWSKY, P. 1999: *Caracterización geomecánica en muestras del pozo LL-3548, del campo Lagunillas*. INTEVEP, S. A. Los Teques, Venezuela.

TORRES, L. C. 2009: *Construcción del modelo geomecánico del yacimiento Lagunillas Inferior 07*. Tesis de grado. Universidad de Zulia, Venezuela.