# "Análisis Objetivo de la producción para probar los beneficios de sobrepasar la zona de daño al punzar un pozo de petróleo. Aplicación al campo Cononaco de Petroproducción."

Yolanda Padilla Martillo[1], Edgar Riofrío[2]

[1]Egresada de Ingeniería de Petróleo.
[2]Director de Tesis, Ingeniero de Petróleo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1976, Diplomado en medio ambiente, ESPOL, Profesor de la ESPOL desde 1996.

**RESUMEN.**

El objetivo de este proyecto es probar que al sobrepasar la zona de daño al cañonear o punzar un pozo la producción será mejor que en el caso en el cual no se sobrepasa la zona de daño.
Para el efecto se seleccionó el campo Cononaco de Petroproducción. En este campo se identificaron aquellos pozos donde la operación de cañoneo fue efectiva, es decir, los pozos en los que se sobrepasó la zona de daño por invasión al cañonear. Esto se logra comparando el radio de invasión de los pozos, $r_s$, con su radio de penetración, $r_p$.
Posteriormente se analiza la producción de todos los pozos sobre la base de una variable esencial que determina el comportamiento de yacimientos productores de hidrocarburos como lo es el índice de productividad específico, IPS. Además se analizó el efecto que la permeabilidad y el radio de invasión ejercen en el IPS.

## INTRODUCCIÓN

La etapa inicial de la vida de un pozo productor de hidrocarburos es su perforación. En este proceso se utiliza comúnmente el lodo de perforación, el cual tiene entre sus principales finalidades controlar la presión del yacimiento y sostener las paredes del pozo.
Para controlar la presión del yacimiento, la columna hidráulica del lodo es diseñada de manera que ejerza una sobrepresión en contra de la formación la cual hace que los fluidos contenidos en el lodo se filtren hacia las formaciones permeables, desplazando los fluidos originales lo que ocasiona una región de menor permeabilidad denominada zona invadida o dañada. El daño causa una caída de presión adicional, al flujo de fluidos de producción hacia el pozo.
Para comunicar el interior del pozo con la(s) formación(es) productora(s) es necesario crear canales de muy alta conductividad y limpieza. Esto se logra mediante la operación de cañoneo, la cual se realiza bajando a la profundidad de interés un cañón, que dispara cargas las cuales abren orificios a través del revestidor, el cemento y la roca, por los que pasan los fluidos al pozo y posteriormente a la superficie. En la industria petrolera existen diferentes tipos de cañones y cargas dependiendo de las necesidades.
Si no hubiese daño en la formación, con la operación de cañoneo se llegaría a la formación y el proceso de poner en producción un pozo se completase colocando la sarta de Producción o tubing con el sistema de levantamiento artificial adecuado en caso de necesitarlo. Pero esto no es así. En la mayoría de los casos y por diferentes circunstancias el daño de formación existe en mayor o menor proporción y con él la disminución en la efectividad de producción

del pozo ya que en esta zona de daño la permeabilidad de la formación disminuye hasta en un 90% produciéndose una caída en la presión.
Hay que tener en cuenta que el objetivo del desarrollo de la Ingeniería de Yacimientos es lograr la máxima eficiencia en la explotación de Yacimientos de hidrocarburos, entendiéndose por máxima eficiencia la máxima recuperación al costo mínimo.
Por lo tanto, para que la operación de cañoneo sea eficiente, la carga debe, además de atravesar el casing, penetrar en la formación hasta pasar esta zona de baja permeabilidad lo que teóricamente debe incrementar la Producción.
Sobre esta base se puede plantear la hipótesis que es el objetivo de este proyecto de tesis : "demostrar que punzar un yacimiento sobrepasando la zona de daño resulta en mejor producción que cuando no se sobrepasa dicha zona".
Para cumplir este objetivo, lo ideal sería poder punzonar una zona sin sobrepasar el daño por invasión y medir su producción. Punzonar luego la misma zona, esta vez sobrepasando la zona de daño y medir la producción, seguramente mayor en este segundo caso. Desafortunadamente esta metodología no es viable ya que el primer cañoneo y prueba alterarían las condiciones iniciales, haciendo que los resultados de la segunda prueba pierdan validez como comparación.
Previamente se desarrollaron dos trabajos en Ecuador, el primero fue "Optimización del cañoneo para diferentes arenas del campo Sacha"[(1)], tesis de grado de Ingeniería de petróleos de Miguel Cevallos de la Politécnica Nacional, y "Metodología objetiva para optimizar el diseño y evaluación del cañoneo. Aplicación al gigante campo Sacha, Ecuador"[(2)] por los Ing. José Flores y Miguel Cevallos de Schlumberger. En ambos estudios se diseñaron operaciones de cañoneo basadas en pruebas experimentales en núcleos para medir propiedades mecánicas de los yacimientos a punzonar. Además estos estudios incluyeron análisis de pruebas de presión transiente para estimar objetivamente el radio de invasión esperado. Pero en ambos estudios no se realizaron análisis profundos de producción para ver la influencia que la aplicación de esta metodología ejercía sobre la producción. Por lo tanto, tomando como herramienta los resultados de esta metodología ya propuesta se hará el análisis de producción para probar la hipótesis planteada.

## CONTENIDO

El proceso utilizado para cumplir el objetivo de este proyecto, que es probar que al sobrepasar la zona de daño al cañonear o punzar un pozo la producción será mejor que en el caso en el cual no se sobrepasa la zona de daño, se puede resumir en tres pasos:
1. Selección de pozos para el estudio.
2. Determinación de la efectividad de los punzados.
3. Análisis de producción.

### 1. Selección de pozos para el estudio.
El Campo Cononaco de Petroproducción fue seleccionado para este estudio por presentar las mejores características en cuanto a disponibilidad de la información y aplicación potencial de los resultados para el mejoramiento de la producción actual y su desarrollo a futuro.
El Campo Cononaco se encuentra ubicado en la Provincia del Pastaza, al suroeste del Campo Auca y al norte del Campo Tigüino, formando parte del mismo alineamiento estructural que los campos mencionados y del cual también forma parte el campo Sacha[(3)]. Figura 1.
Al inicio de este estudio, Mayo del 2002, hay perforados 27 pozos en este Campo, con una producción promedio de 8128 barriles de petróleo por día.

Para lograr los propósitos de este estudio nos concentraremos únicamente en la formación Hollín Inferior que es la principal productora de este campo.

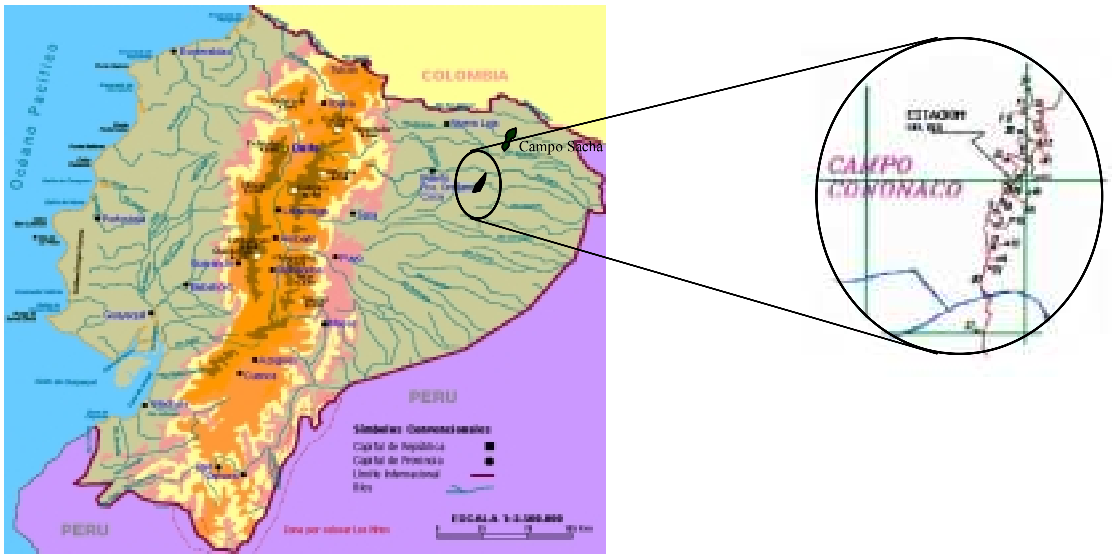


Figura 1: Ubicación del campo Cononaco.

## 2. Análisis y determinación de la efectividad de los disparos.

Se considera que la operación de cañoneo es efectiva si los disparos o punzados sobrepasaron la zona de daño de formación por invasión en el pozo.

Para determinar si la operación de cañoneo fue diseñada y ejecutada efectivamente en cada una de las completaciones en la Formación Hollín Inferior del Campo Cononaco se debe:

1. Calcular el radio de invasión de la formación productora, $r_s$ .
2. Calcular la profundidad de penetración de los disparos, $r_p$.
3. Comparar el radio de invasión con la profundidad de penetración. Para que la operación de cañoneo pueda considerarse efectiva, $r_p$ debe ser mayor a $r_s$.

### 2.1 Cálculo del radio de invasión de la formación productora, ( $r_s$ ).

Empleando las pruebas de presión transiente y la ecuación de Hawkins(4), ecuación 2.1, se determina el radio de invasión. Los resultados se presentan en la Tabla I.

$$r_s = r_w * e^{\frac{s}{(k/k_s)-1}} \qquad (2.1)$$

### 2.2 Cálculo de la profundidad de penetración de los disparos, ( $r_p$ ).

Con el simulador SPAN ( Schlumberger Perforating ANalysis ), se calculó la penetración de las cargas, en cada caso. Entre los datos necesarios para la utilización del simulador están el diagrama mecánico de los pozos, datos de cañoneo, datos petrofísicos de los fluidos del pozo y la resistencia a la compresión de la roca. Todos estos datos se los puede obtener de los archivos del pozo excepto la resistencia a la compresión de la roca. Los estudios previos determinaron que las correlaciones utilizadas daban como resultado un error del 100 % en el mejor de los casos con respecto a pruebas de laboratorio, por lo tanto se creyó conveniente utilizar las pruebas de laboratorio. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Central del Ecuador siguiendo los procedimientos estándar ASTM C 49[5] y ASTM C39-96[6]. El procedimiento consiste en someter a presión muestras cilíndricas de la formación o núcleos de 2 centímetros de diámetro por 4 de largo, Estas muestras deben tener una preparación previa que consiste en eliminar las rugosidades de los extremos y saturarlas en salmuera al 3% durante un tiempo mínimo de 28 días. Posteriormente se coloca en los extremos una mezcla de azufre y piedra pómez a más de 100 ° C, denominada capi, la cual sirve para distribuir uniformemente las fuerzas sobre el núcleo. Después de esta preparación se procede a aplicar la carga sobre el núcleo hasta que fallen. La resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la máxima carga que soporta el núcleo antes de fallar entre su área seccional. Las pruebas arrojaron como resultado un esfuerzo de compresión promedio de 7300 psi, pero para la aplicación en este estudio se consideró la cantidad conservadora de 8000 psi. esos 700 psi adicionales equivalen a la presión que se necesita para penetrar ½´´ en la formación.

Con esta información se corrió el simulador obteniendo como resultado la segunda columna de la tabla I.

### 2.3 Análisis de Efectividad de los punzados.

La Tabla I compara el radio de invasión de la formación ( $r_s$ ) con la penetración de los punzados ( $r_p$ ), obteniendo los pozos en los que se sobrepasó o no la zona de daño de formación al punzar.

**Tabla I:Comparación del radio de invasión y la profundidad de penetración de los punzados.**

| Pozo | $r_s$ (pulgs.) | $r_p$ (pulgs.) | Se sobrepasó o no zona de daño |
|---|---|---|---|
| Con-02 | 17.92 | 14.77 | NO |
| Con-03 | 45.57 | 9.83 | NO |
| Con-05 | 13.85 | 19.37 | SI |
| Con-07 | 18.32 | 11.67 | NO |
| Con-08 | 97.00 | 11.68 | NO |
| Con-09 | 172.87 | 11.76 | NO |
| Con-10 | 27.79 | 14.77 | NO |
| Con-11 | 16.95 | 11.66 | NO |
| Con-13 | 8.90 | 14.75 | SI |
| Con-14 | 17.52 | 14.91 | NO |
| Con-15 | α | 11.67 | NO |
| Con-16 | 10.51 | 15.46 | SI |
| Con-17 | 376.27 | 11.68 | NO |
| Con-18 | 7.96 | 16.58 | SI |
| Con-20 | 16.82 | 13.34 | NO |
| Con-21 | 154.69 | 18.32 | NO |
| Con-24 | 16.74 | 19.01 | SI |
| Con-25 | 34.90 | 18.58 | NO |
| Con-27 | 9.20 | 18.34 | SI |

## 3. Análisis de producción.

La Figura 2 representa la curva del IPS[7] teórico para el campo Cononaco. El gráfico resalta la pérdida de productividad calculada teóricamente para el caso donde no se sobrepasó la zona de daño de aproximadamente 0.050 bls/día*pie*psi.

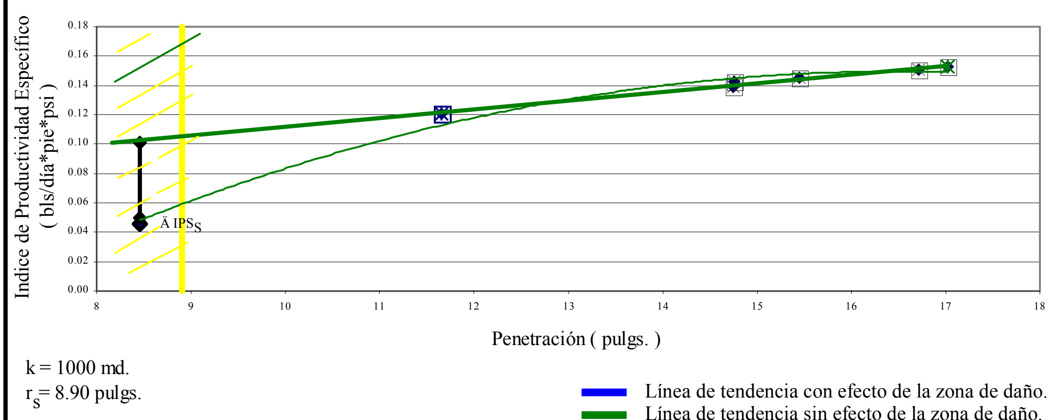


**Figura 2: Indice de Productividad Específico vs penetración, resultados teóricos para la arena Hollín Inferior del Campo Cononaco en el pozo Cononaco 13.**

La figura 3 representa las pérdidas de productividad medidas en los pozos Cononaco 3, 8, 11 y 15 ( todos con características similares ) al no sobrepasar el daño por invasión. La curva real para el yacimiento Hollín de Cononaco fue ajustada con respecto a la curva teórica empleando la información de Cononaco 2 y 13 que se considera sobrepasaron la zona de daño.

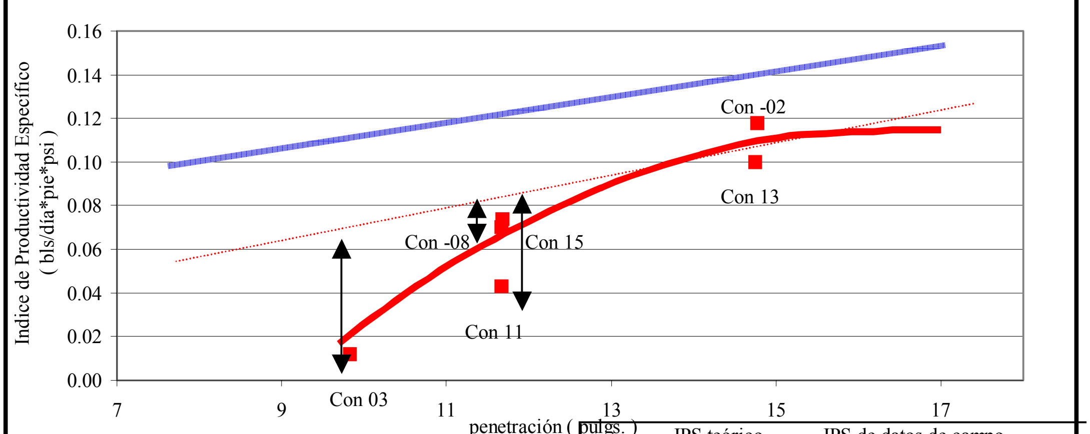


Figura 3: Indice de Productividad Específico vs penetración.
Datos teóricos y de campo para el Campo Cononaco.

Existen factores que impiden que las curvas de IPS teórica y real sean iguales, entre estos factores se puede citar las condiciones ideales con las que se calculan las ecuaciones teóricas, la calidad de la información, el que las características de los pozos sean similares y no iguales y la diferencia de los radios de invasión. Analizando los factores que más influencia pueden tener son:

**3.1 La permeabilidad:** Se puede definir 3 rangos de permeabilidades. La influencia que cada uno tiene en el IPS se muestra en la figura 4.

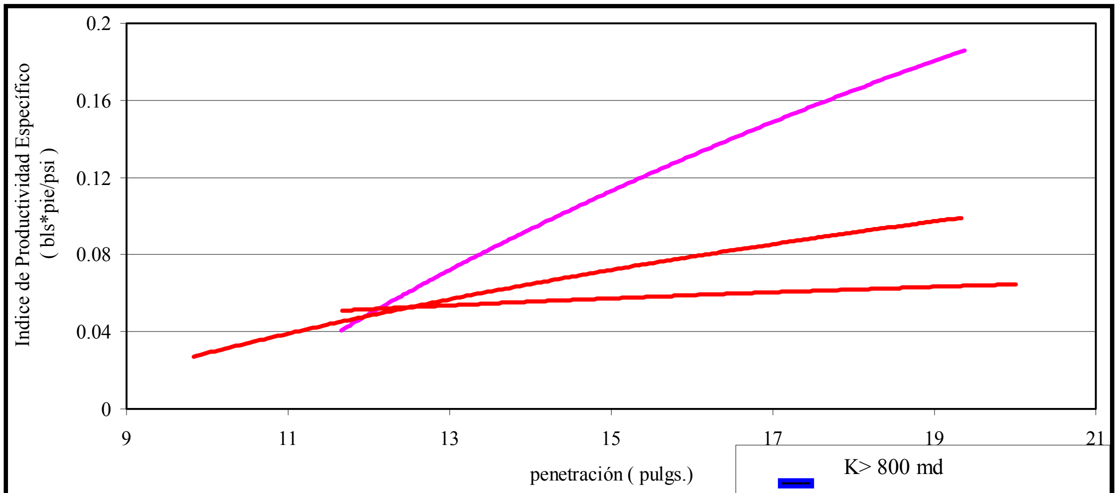


Figura 4:IPS vs penetración para diferentes rangos de permeabilidades.
Pozos del Campo Cononaco.

**3.2 El radio de invasión:** la figura 5 muestra la relación inversa que hay entre el radio de invasión y el IPS.

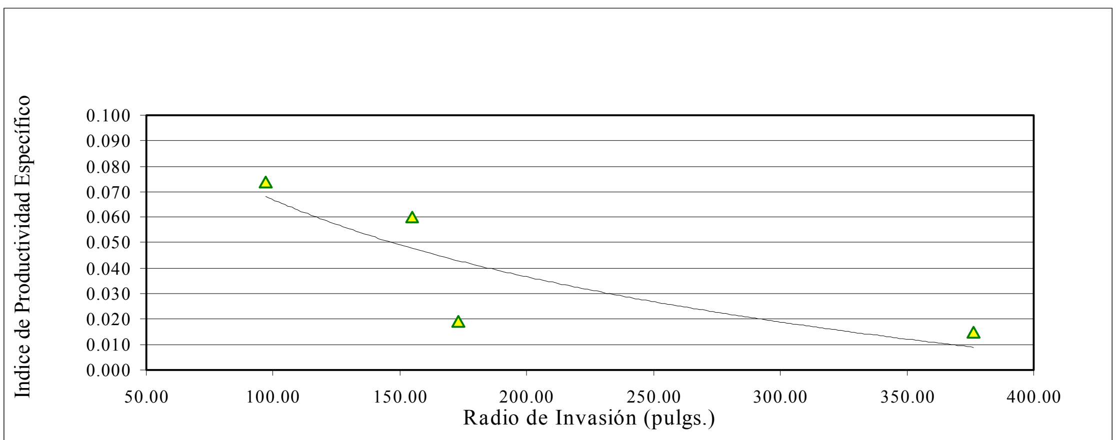


**Figura 5:** Indice de Productividad Específico vs. radio de invasión para la invasión profunda en el Campo Cononaco.

Los pozos listados en la parte superior de la tabla II, en color rojo, son aquellos donde se sobrepasó ampliamente la zona de daño. Los pozos listados a continuación, en color verde, son aquellos donde se alcanzó al menos el 60 % del daño por invasión y que descontadas las incertidumbres, podrían o no sobrepasar la zona de daño. Los pozos listados en la parte inferior de la tabla son aquellos que con seguridad no sobrepasaron la región de daño. Esto se definió por medio de $r_p$ / $r_s$, columna 4 de la tabla.

**Tabla II: Relación entre el radio de penetración del punzado y el radio de invasión de los pozos del Campo Cononaco, Arena Hollín Inferior.**

| **Pozo** | **IP (bfpd/psi)** | **IPS (bfpd * pie / psi)** | $r_p$ / $r_s$ |
|---|---|---|---|
| CON-18 | 3.30 | 0.055 | 2.08 |
| CON-27 | 5.01 | 0.063 | 1.99 |
| CON-13 | 7.99 | 0.100 | 1.66 |
| CON-16 | 2.71 | 0.045 | 1.47 |
| CON-05 | 15.76 | 0.250 | 1.40 |
| CON-24 | 4.35 | 0.089 | 1.14 |
| CON-14 | 7.15 | 0.062 | 0.85 |
| CON-02 | 13.34 | 0.118 | 0.82 |
| CON-20 | 18.38 | 0.196 | 0.79 |
| CON-11 | 4.27 | 0.043 | 0.69 |
| CON-07 | 9.07 | 0.074 | 0.64 |
| CON-25 | 9.75 | 0.068 | 0.53 |
| CON-10 | 7.63 | 0.054 | 0.53 |
| CON-03 | 1.74 | 0.012 | 0.22 |
| CON-08 | 6.84 | 0.074 | 0.12 |
| CON-21 | 1.80 | 0.060 | 0.12 |
| CON-09 | 2.25 | 0.019 | 0.07 |
| CON-17 | 0.95 | 0.015 | 0.03 |
| CON-15 | 8.77 | 0.070 | 0.00 |

La figura 6 muestra curvas de IPS vs. penetración. La curva en color rojo representa a los pozos en los que no se sobrepasó la zona de daño al punzar y sólo se llegó hasta un porcentaje inferior del 60 % de la zona de daño. La diferencia entre estas curvas, de al menos 0.05 bls/día*pie*psi es la pérdida en producción por efectos del daño por invasión.

Se puede observar claramente que para iguales penetraciones el IPS se incrementa aproximadamente en un **100 %** lo que evidencia que sobrepasar la zona de daño o aproximarse mucho a sobrepasarla cuando se cañonea un pozo tiene un efecto significativo en términos de producción.

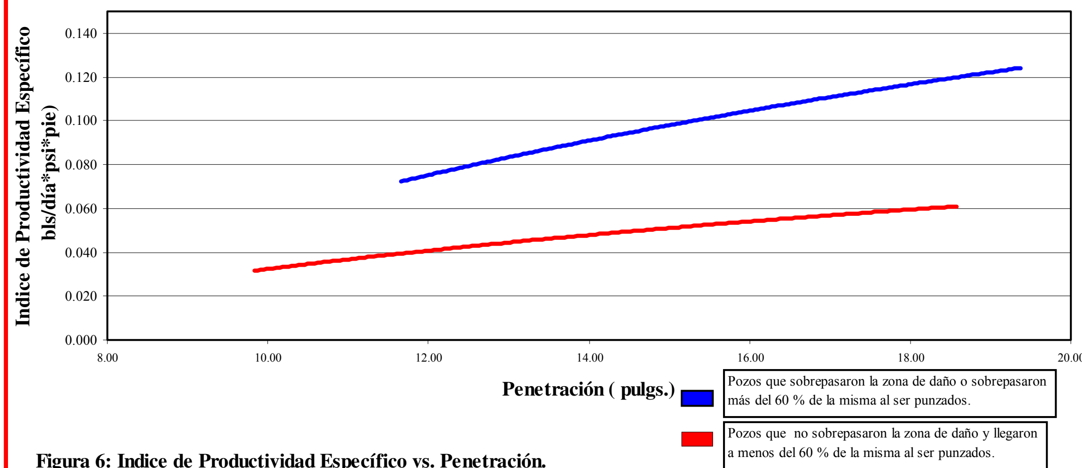


**Figura 6: Indice de Productividad Específico vs. Penetración.**

## CONCLUSIONES

1. Se demostró que la Producción de un pozo es mayor si se sobrepasa la zona de daño o se llega al menos al 60 % de la misma cuando se cañonea.

2. El índice de productividad específico es la mejor opción para establecer comparaciones entre la productividad de pozos. Sin embargo, este parámetro no es una medida completamente objetiva ya que depende de las características litológicas de las arenas, permeabilidad y propiedades físicas de los fluidos.

3. La Productividad de un pozo está directamente relacionada con la Permeabilidad de la formación. Esta característica se puede incrementar mediante acidificaciones y fracturas en la formación pero estas operaciones representan un costo adicional que se puede evitar si al cañonear el pozo el punzado sobrepasa la zona de daño.

4. Cuando el radio de invasión es profundo la productividad decrece significativamente.

5. Mediante pruebas de laboratorio se determinó que la resistencia a la compresión de la Formación Hollín Inferior para el campo Cononaco tiene un valor promedio de 8000 psi. Con este valor fue posible determinar en forma precisa la profundidad de penetración para cada uno de los cañoneos.

6. Del análisis de Efectividad de los punzados se concluye que de los 19 pozos estudiados sólo en 6 pozos, es decir el 31 %, la operación de cañoneo fue efectiva. Estos pozos son los Cononaco 5, 13, 16, 18, 24 y 27.

**REFERENCIAS**


**a) Tesis**

1. M. Cevallos, "Optimización del cañoneo para diferentes arenas del campo Sacha", (Tesis, Facultad de Ingeniería de petróleo, Escuela Politécnica Nacional, 2000).

**b) Artículo en las memorias de una conferencia**

**2.** IX congreso colombiano del petróleo, Bogotá, octubre 16-19, 2001 "Metodología objetiva para optimizar el diseño y evaluación del cañoneo. Aplicación al gigante campo Sacha, Ecuador, por J. Flores y M. Cevallos "

**c) Reporte técnico**

**3.** C.I.G.G., Estudio de los crudos presentes en el campo Cononaco. (Petroecuador, Septiembre 1999).

**d) Volumen de una colección**

**4.** M. F. Hawkins, " Una nota en el Efecto Skin", Tran. AIME, Vol. 207, 1956, pp. 356 – 357.

**e) Normas técnicas**

**5.** ASTM C 49-94, Standard Test Method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete, 1994.

**f) Normas técnicas**

**6.** ASTM C 39-96, Standard Test Method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 1996.

**g) Libro**

**7.** T.E. Nind, Fundamentos de producción y mantenimiento de pozos petroleros ( Ontario, Trent University, 1987), pp. 71-76


-------------------------------------

**Ing. Edgar Riofrío**

Director de Tesis