

Aplicación de la energía mecánica específica para aumentar la eficiencia del desarrollo de las operaciones de perforación

págs. 163-178

Grupo de investigación: Nuevas tecnologías de perforación

Línea de investigación: Brocas

Jorge Luis Ramos• José Torres•• Cesar Gómez•• Anthony Martínez••• Julián Tolosa••• Lilia Polanco••••

Recibido: junio 8 de 2013 Aceptado: octubre 16 de 2013

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un estudio basado en la Energía Mecánica Específica (MSE) con el fin de evaluar el desempeño de las brocas PDC y de esta forma obtener nuevos parámetros de perforación para mejorar los futuros pozos del Campo de Ecopetrol S.A. Para dicho estudio se evaluaron los siguientes parámetros: revoluciones por minuto, peso sobre la broca, velocidad de penetración, torque y galonaje.

Palabras Clave: Energía Mecánica Específica, Parámetros de Perforación, Brocas PDC.

ABSTRACT

In this paper a study based on Specific Mechanical Energy (MSE) in order to evaluate the performance of PDC bits and thus obtain new parameters to improve future drilling wells Ecopetrol SA Golf For this study, we evaluated the following parameters: revolutions per minute, weight on bit, rate of penetration, torque and gallon age.

Key Words: Specific Mechanical Energy, Drilling parameters, PDC bits.

• Docente investigador Universidad de América.

•• Ingenieros Depto de perforacion, Empresa Colombiana de Petroleos.

••• Estudiantes coinvestigadores, programa de Ingeniería Mecánica.

•••• Ingeniera Departamento de Perforación de Ecopetrol. Proyecto desarrollado en convenio con Ecopetrol - ICP.

1. INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo continuamente busca disminuir tiempos y costos de operación de una forma eficiente aplicando nuevas tecnologías y estudios que optimicen cada paso desde la exploración hasta el abandono de un campo. Eco-petrol S.A. en su proceso de desarrollo debe perforar nuevos pozos usando los mismos análisis y estudios que mantienen constantes costos y tiempos de perforación, lo que genera una búsqueda de nuevas tecnologías de perforación encaminadas a mejorar la eficiencia de operación de forma segura y de la manera más rentable posible.

De esta forma al implementar un nuevo indicador de eficiencia como lo es el de la Energía Mecánica Específica, se busca optimizar los parámetros usados para realizar la perforación de pozos como TQ, WOB, GPM y ROP, que son los que condicionan la eficiencia de la misma, así como el desempeño de las distintas herramientas usadas para realizar la operación. Tomando esto en cuenta, el elemento que se ve más influenciado por estos parámetros es la broca, ya que sufre el mayor impacto por estar en contacto directo con la formación perforada, lo que plantea la necesidad de reformular los mapas de parámetros usados para la perforación, enfocándolo no solo en la zona a perforar sino también la broca que se piensa utilizar.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Energía mecánica específica (MSE)

José Fernández (2012) enuncia que la Energía Mecánica Específica se usa para mejorar el rendimiento de perforación con resultados mixtos y se define como la energía necesaria para excavar un volumen unitario de roca. Es un parámetro muy útil, que puede considerarse como indicativo de la eficiencia en un trabajo de perforación.

La Energía Mecánica Específica combina cada uno de los parámetros registrados en la perforación, y puede expresarse en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Energía Mecánica Específica.

$$MSE = \frac{F}{A} + \frac{2\pi * RPM * TQ}{A * ROP} = et + er$$

Fuente: Galera

Dónde:

MSE = energía mecánica específica (psi)

F = presión sobre la broca (kN)

A = área de perforación (m²)

RPM = velocidad de rotación (rps)

TQ = torque (kN*m)

ROP = velocidad de penetración (m/s)

Et = componente de presión (psi)

Er = componente de rotación (psi)

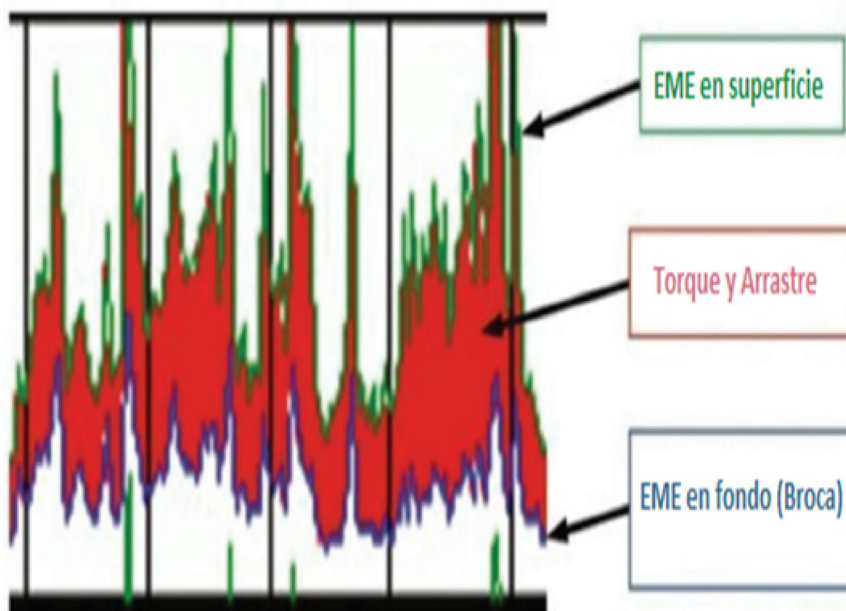
La primera variable de la ecuación corresponde al componente de presión y la segunda variable la componente de rotación. La Energía Mecánica Específica tiene las mismas dimensiones que la presión, debido a que si una fuerza.

El mínimo valor adquirido por la energía es una medida de la eficiencia mecánica máxima de una herramienta concreta y en unas condiciones específicas. Sin embargo, la Energía Mecánica Específica no disminuye de forma indefinida; existe un momento en que un aumento de la presión sobre la broca provoca una sobrecarga y atascamiento de esta, reduciéndose la eficiencia y causando un nuevo aumento de la Energía Mecánica Específica.

Eficiencia perforación por energía mecánica específica. El primero en plantear el cálculo de la MSE y observar la relación entre la misma, con la resistencia a la compresión fue Teale; en muchos casos un alto valor de Energía Mecáni-

ca Específica no es necesariamente una señal de bajo desempeño de la broca, pero si es un indicativo de un alto torque y arrastre en el pozo; así como de menor cantidad de energía que llega a la broca como se ve en la Figura 1.

Figura 1. Comparación entre la medida de fondo y superficie para MSE.



Fuente: Pessier (2012)

La correlación entre MSE y la resistencia de la roca, ha sido utilizada para evaluar la eficiencia de perforación. Para lo cual se emplea la Ecuación 13.

Ecuación 2. Eficiencia de perforación.

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia de perforación} &= \frac{\text{MSE mínima}}{\text{MSE actual}} * 100 \\ &= \frac{\text{CCS}}{\text{MSE}} * 100 \end{aligned}$$

Fuente: Teale (1965)

Dónde:

MSE = energía mecánica específica (psi)

CCS = resistencia a la compresión con confinamiento (psi)

La eficiencia de perforación llega a su máxima expresión en el momento en que la Energía Mecánica Específica sea igual a la resistencia a la compresión de la roca (1965).

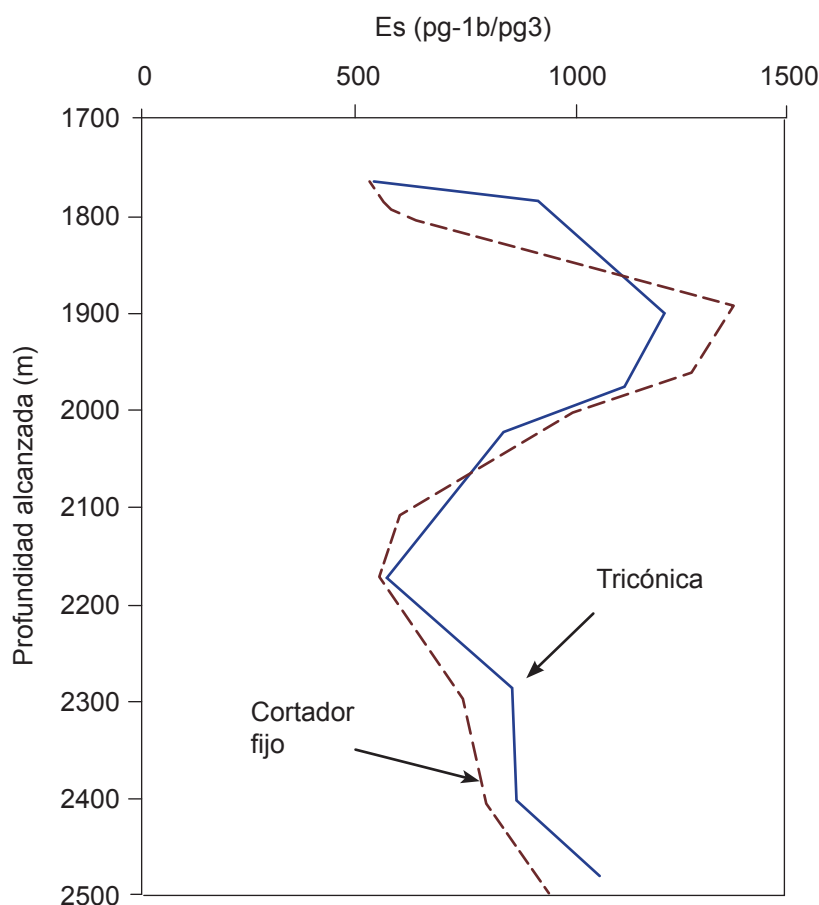
La energía mecánica específica como criterio para la selección de brocas. No existe un criterio generalizado para realizar la selección del tipo de broca, por lo que generalmente esto se realiza a partir de experiencias previas del comportamiento de cada tipo de broca en litologías conocidas. Debido a esto se han propuesto varias metodologías para este fin, pero es de interés el uso de la Energía Mecánica Específica como método de selección. El procedimiento para realizarlo es el siguiente:

- Recopilar y organizar información de pozos de correlación, sobre todo registros de brocas y registros geofísicos.
- Calcular la MSE para cada intervalo perforado y para cada broca.
- Graficar los datos de obtenidos anteriormente en una gráfica de profundidad vs MSE
- Seleccionar la broca utilizando la gráfica construida.

Con el fin de decidir cuál es la broca más efectiva el criterio a considerar, es la broca que requiere menos energía (ver Figura 2).

Para el caso ilustrado en la figura anterior, es claro que la broca que requiere menor energía para perforar el intervalo (1750-2500) metros, es la broca de cortadores fijos, por lo cual este es la que debería ser seleccionada, por su baja energía en comparación con la tricónica.

Figura 2. Comparación de eficiencia por MSE para distintos tipos de brocas.



Fuente: PEMEX (2012)

Mapa de parámetros de las condiciones actuales de perforación en el campo

Mediante un proceso de prueba y error se generó un pozo tipo de las condiciones actuales

de perforación mediante al cual se realizaría el análisis del comportamiento de la MSE. Los procedimientos mediante los cuales se generó el pozo tipo fueron los siguientes:

- Promedio lineal

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BROCAS

- Líneas de tendencia
- Promedio normalizado

De los cuales el único que permitió el desarrollo del estudio fue el promedio normalizado por lo cual es el único que se mencionara a continuación.

Promedio normalizado

Se generó mediante la normalización de la data de todos los pozos, lo cual consistió en llevar la cantidad de datos existentes por arena y por pozo a una cantidad igual de datos, mediante la toma de una muestra representativa los datos numéricos que representan el comportamiento de cada parámetro en cada arena y en cada formación como se ve en las Tablas 1-7.

Tabla 1. Pozo 1.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	329.8	212.5	9	470-690
La Cira Shale	294.67	233	10	690
Base La Cira Shale	296	233	10	690
Arenas A0	263.04	233	10	690
Arenas A1	218.3	233	10	690
Arenas A2	209.23	255	10	660
Arenas A3	248.81	266	11	700
Arenas B0	233.58	266	11	700
Arenas B1	225.51	266	12	700
Arenas B2	204.35	266	12	700
Arenas B3	114.91	234	10	470-700

Tabla 2. Pozo 2.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	251.0	360.0	7.0	450-560
La Cira Shale	181.1	425.0	8.0	570.0
Base La Cira Shale	126.5	390.0	8.0	570-580
Arenas A0	132.3	390.0	9.0	570-580
Arenas A1	146.5	400.0	7.0	560-580
Arenas A2	143.0	420.0	7.5	560.0
Arenas A3	121.2	420.0	8.5	560.0
Arenas B0	56.9	395.0	16.0	510-530
Arenas B1	43.5	425.0	13.0	530.0

Tabla 3. Pozo 3.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	319.9	261	10	318-700
La Cira Shale	243.2	266	10	700
Base La Cira Shale	309.6	266	10	700
Arenas A0	239.3	266	10	700
Arenas A1	207.8	266	10	700
Arenas A2	188.6	266	10	700
Arenas A3	199.3	276	10	700
Arenas B0	161.1	276	10	700
Arenas B1	231.5	266	10	700
Arenas B2	194.3	266	10	700

Tabla 4. Pozo 4.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	444.42	228	12.5	600
La Cira Shale	311.59	266	9	700
Base La Cira Shale	193.87	266	9.5	700
Arenas A0	360	266	10	700
Arenas A1	246.92	266	10	700
Arenas A2	194.58	266	12	700
Arenas A3	237.31	266	9	700
Arenas B0	254.05	224	9	550
Arenas B1	180.42	238	16	700
Arenas B2	290.18	276	9	700
Arenas B3	233.33	270.4	9.5	680

Tabla 5. Pozo 5.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	311.30	250	10.0	660-680
La Cira Shale	368.85	265	14.5	660-700
Base La Cira Shale	193.59	265	10.0	680-690
Arenas A0	64.89	270	9.0	700
Arenas A1	99.01	275	10.5	700
Arenas A2	204.44	277.5	9.0	670-680
Arenas A3	59.02	278	11.0	660-680

Tabla 6. Pozo 6.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	322.00	256	9	700
La Cira Shale	322.00	256	10	700
Base La Cira Shale	282.00	256	10	700
Arenas A0	414.00	256	10	700
Arenas A1	262.00	261	12	700
Arenas A2	197.00	186	11	700
Arenas A3	313.00	266	11	700
Arenas B0	326.00	266	10	700
Arenas B1	310.00	266	10.5	700
Arenas B2	248.00	266	10.5	700
Arenas B3	177.00	244	8.5	620

Tabla 7. Pozo 7.

Formación/Unidad	ROP	RPM	WOB	Q
Grupo Real	262.1	228	7.0	600
La Cira Shale	238.4	266	9.0	700
Base La Cira Shale	173.1	266	9.0	700
Arenas A0	198	266	10.0	700
Arenas A1	198	266	10.0	700
Arenas A2	162.1	266	10.0	700
Arenas A3	200	266	11.5	700
Arenas B0	193.9	266	11.5	700
Arenas B1	150.9	266	11.5	700
Arenas B2	158.8	276	12.5	700
Arenas B3	142.6	276	12.5	700

A partir de la correlación realizada entre los siete pozos del campo en estudio y basándose en el promedio normalizado, se sacó un promedio de los espesores litológicos con el fin de tener todas las arenas presentes en la formación y de allí obtener el mapa de parámetros de las condiciones actuales de perforación como se muestra en la Tabla 8.

Evaluación comparativa de desempeño de brocas.

Se realiza un análisis del comportamiento de las brocas usadas en los siete pozos de estudio y de esta forma se mira que broca fue más eficiente, las principales características de las brocas de estudio se relacionan en la Tabla 9.

Con el fin de llevar a cabo este análisis se particularizó el comportamiento de las dos brocas empleadas en los pozos de estudio, median-

te una comparación gráfica del desempeño de los parámetros para cada una, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 8. Mapa de parámetros condiciones actuales de perforación.

Formación/Unidad		Parámetro	Valor	Unidad
Grupo Real		MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	331.6	Ft/hr
		WOB	9.6	Klbs
		RPM	239.3	Rev/Min
		Q	633.3	Gal/min
Formación Colorado	La Cira Shale	MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	280	Ft/hr
		WOB	9.9	Klbs
		RPM	282.4	Rev/Min
		Q	267.7	Gal/min
	Base La Cira Shale	MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	224.9	Ft/hr
		WOB	9.5	Klbs
		RPM	277.4	Rev/Min
		Q	698	Gal/min
	Arenas A0	MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	238.8	Ft/hr
		WOB	9.7	Klbs
		RPM	278.1	Rev/Min
		Q	698.3	Gal/min
Arenas A1	MW	10.6-11.3	Lpg	
	ROP	190.2	Ft/hr	
	WOB	10.5	Klbs	
	RPM	281	Rev/Min	
	Q	698.3	Gal/min	
Formación Mugrosa	Arenas A2	MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	185.6	Ft/hr
		WOB	9.9	Klbs
		RPM	276.6	Rev/Min
		Q	670	Gal/min
	Arenas A3	MW	10.6-11.3	Lpg
		ROP	196.9	Ft/hr
		WOB	10.3	Klbs
		RPM	291.1	Rev/Min
		Q	676.7	Gal/min

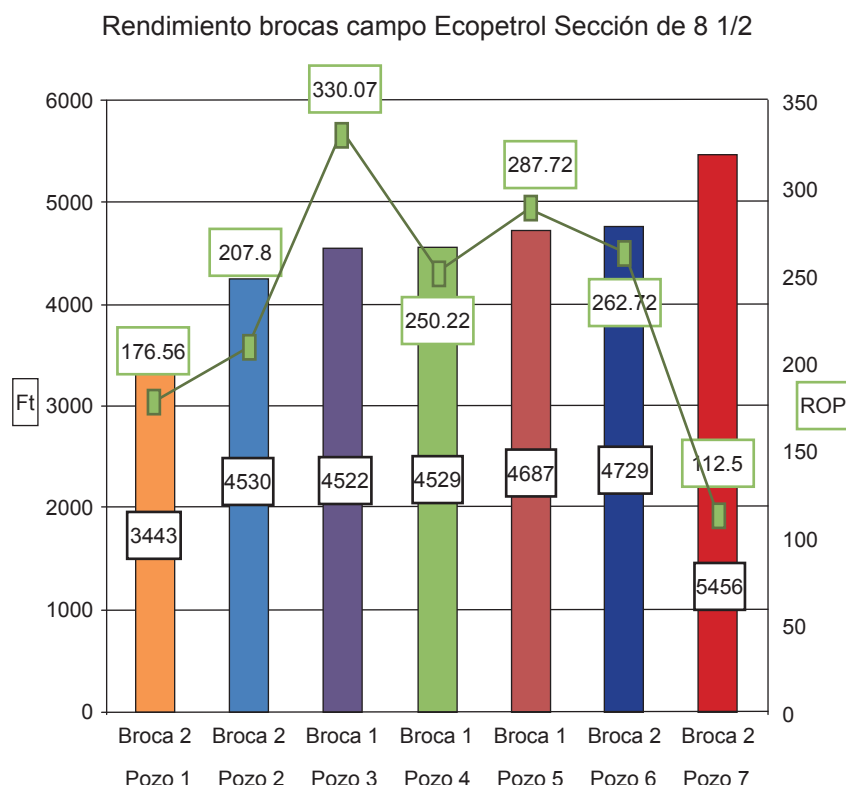
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BROCAS

Formación/Unidad		Parámetro	Valor	Unidad
Formación Mugrosa	Arenas B0	MW	10.5	Lpg
		ROP	204.3	Ft/hr
		WOB	11.3	Klbs
		RPM	282.2	Rev/Min
		Q	670	Gal/min
	Arenas B1	MW	10,5	Lpg
		ROP	190.3	Ft/hr
		WOB	12.2	Klbs
		RPM	287.8	Rev/Min
		Q	671.7	Gal/min
	Arenas B2	MW	10.5	Lpg
		ROP	219.1	Ft/hr
		WOB	10.8	Klbs
		RPM	270	Rev/Min
		Q	700	Gal/min
Arenas B3	MW	10.5	Lpg	
	ROP	166.9	Ft/hr	
	WOB	10.1	Klbs	
	RPM	256.1	Rev/Min	
	Q	666.7	Gal/min	

Tabla 9. Características de la Brocas # 1 y la Broca # 2.

Característica	Broca #1	Broca #2
Número de Cortadores	55	29
Diámetro de Ampliación	9.5"	9,5"
Diámetro de Paso	8.5"	8.5"
Diámetro de Piloto	7.5"	7"
Material del Cuerpo	Acero	Acero
Número de Rimadores	2	2
Longitud del Calibre	2"	2"
Longitud Total	27"	21.427"
Número de Boquillas	6	6

Gráfica 1. Representación gráfica desempeño para la broca número uno y la broca número dos.



Resultados de la evaluación comparativa de desempeño de las brocas empleadas. Mediante la comparación de los resultados tanto numéricos como gráficos, se observó que la broca número uno, tuvo un desempeño más alto que la otra brocas para la sección de 8 1/2 pulgadas comprendida por las formaciones Colorado, Murgosa y Grupo Real; debido a que los datos obtenidos de ROP para toda la sección, para las dos brocas fueron similares, pero en el caso de la broca número uno se obtuvieron con menores revoluciones por minuto y peso sobre la broca; además mediante la metodología expuesta anteriormente se determinó que la broca con menor consumo de energía fue la broca número uno como puede observarse en la Gráfica 2.

Mapa de parámetros óptimos recomendado

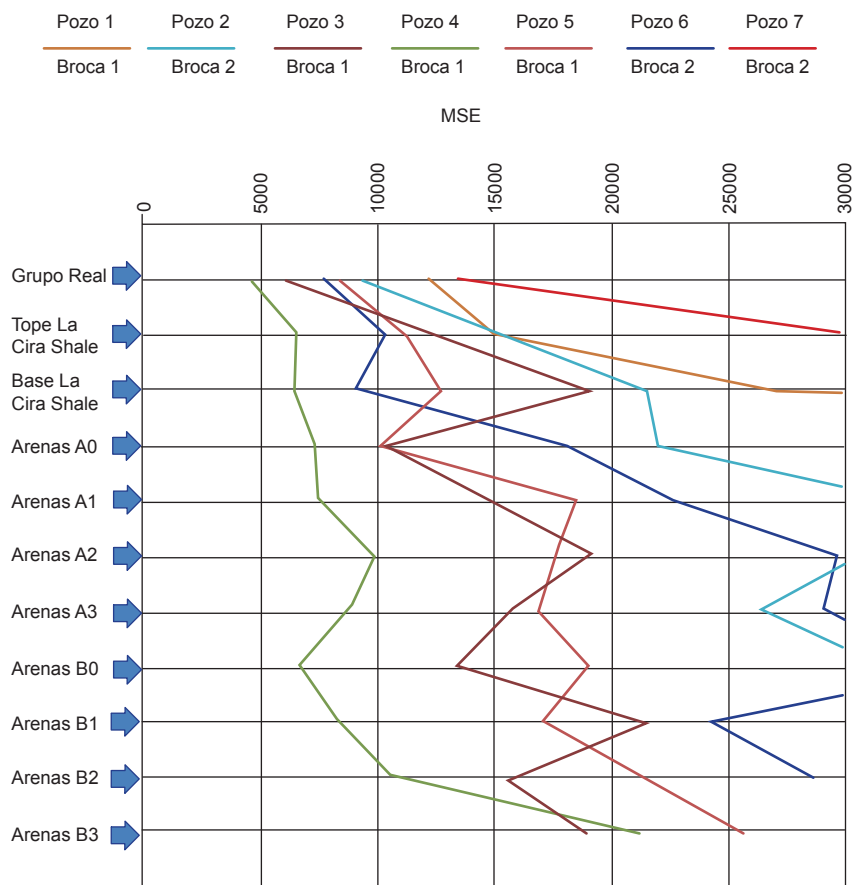
Con base en los parámetros de perforación utilizados en los siete pozos de estudio, se re-

comienda un nuevo mapa de parámetros (ver Tabla 10), el cual se genera mediante la comparación de cada parámetro de perforación con la MSE como se observa en la Gráfica 1. En la Gráfica 1 se observan los puntos en donde se obtienen los valores de MSE más bajos, y por ende las zonas en donde la perforación es más eficiente, siendo estos los parámetros recomendados para futuras perforaciones.

Evaluación del mapa de parámetros recomendado

La eficiencia de perforación llega a su máxima expresión en el momento en que la Energía Mecánica Específica sea igual a la resistencia a la compresión de la roca, para determinar cuál fue la eficiencia exacta durante una perforación se debe realizar una correlación entre MSE y la resistencia de la roca (CCS) que se obtiene a partir de la Ecuación 2.

Gráfica 2. Comparación de MSE para los siete pozos.



Gráfica 1. Comparación parámetros de perforación con MSE arena A2.

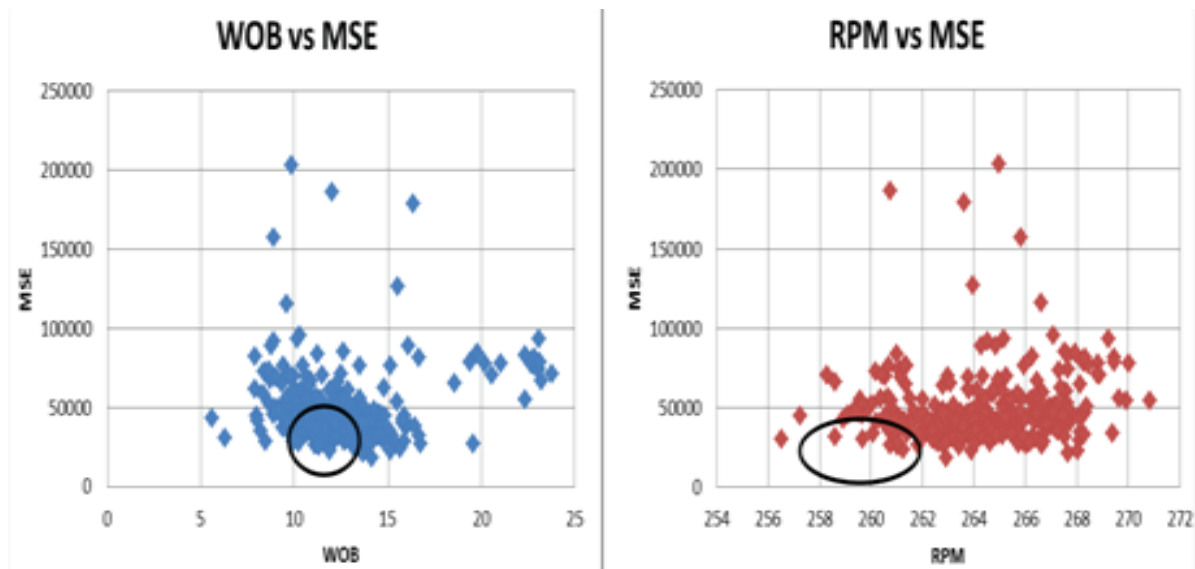


Tabla 10. Mapa de parámetros óptimos recomendado

Formación/Unidad		Parámetro	Valor recomendado	Unidad
Grupo Real		WOB	10-12	Klbs
		RPM	280-290	Rev/Min
Formación Colorado	Tope La Cira Shale	WOB	10-12	Klbs
		RPM	280-290	Rev/Min
	Base La Cira Shale	WOB	4-8	Klbs
		RPM	280-290	Rev/Min
	Arenas A0	WOB	8-12	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas A1	WOB	10-15	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas A2	WOB	8-14	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas A3	WOB	9-13	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
Formación Mugrosa	Arenas B0	WOB	8-14	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas B1	WOB	7-12	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas B2	WOB	5-10	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min
	Arenas B3	WOB	5-10	Klbs
		RPM	260-290	Rev/Min

Mediante experiencias de campo donde se realizaron operaciones de perforación empleando la broca más eficiente, que fue la más eficiente durante las perforaciones en pozos anteriores y empleando el mapa de parámetros recomendado obtenido a partir de la energía mecánica específica, se obtuvo un aumento en la eficiencia en comparación de las perforaciones realizadas anteriormente en el campo cómo se puede ver en la Tabla 11.

Se observan en todas las arenas atravesadas durante la perforación un aumento en el porcentaje de eficiencia, generando un ROP efectivo mucho más alto.

El aumento de eficiencia también puede evidenciarse en la Gráfica 3, donde se observan

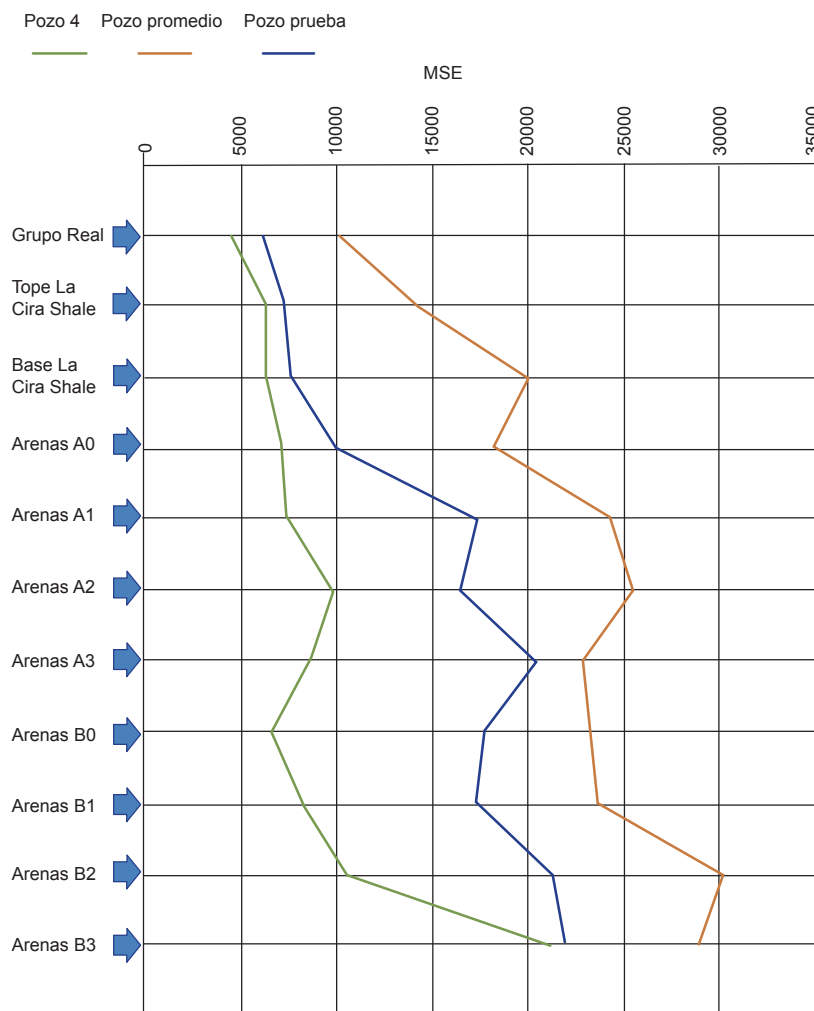
tres curvas que corresponden a los valores de MSE para el Pozo cuatro, un pozo promedio y los valores obtenidos en un pozo de prueba donde se implementaron los parámetros óptimos recomendados.

En la Gráfica 3 se observa una reducción significativa en la energía necesaria para realizar la operación de perforación en el pozo de prueba, llegando a puntos como las arenas Grupo Real, Tope La Cira Shale y Base La Cira Shale, donde el comportamiento fue muy similar al del Pozo cuatro, que fue el que tuvo el menor consumo de energía; de la misma forma hay reducción de la energía en todas las zonas y por consecuencia un aumento en la eficiencia en comparación de las perforaciones pasadas representadas por el pozo promedio.

Tabla 11. Aumento de eficiencia a partir de la MSE

	MSE (psi) parámetros actuales	MSE parámetros recomendados	CCS (psi)	Eficiencia MSE parámetros actuales	Eficiencia MSE Parámetros recomendados	Aumento de eficiencia
GR	10125.659	6802.299275	1643.65	16.23%	24.16%	48.86%
T-CS	17653.628	9408.575129	1621.31	9.18%	17.23%	87.63
B-CS	24434.476	20135.78011	2860.82	11.71%	14.21%	21.35%
A0	23081.99	12104.88137	3425.52	14.84%	28.30%	90.68%
A1	29258.205	32103.51129	4105.61	14.03%	12.79%	-8.86%
A2	29525.577	25036.5469	5364.82	18.17%	21.43%	17.93%
A3	29281.398	15299.00659	5695.63	19.45%	37.23%	91.39%
B0	30585.59	15699.12501	5659.56	18.50%	36.05%	94.82%
B1	33485.54	16316.14504	5157.58	15.40%	31.61%	105.23%
B2	31583.44	29124.01694	6702.64	21.22%	23.01%	9.44%
B3	10125.659	6802.299275	1643.65	16.23%	24.16%	48.86%

Gráfica 3. Comparación MSE para pozo base, pozo record y pozo de prueba.



NOMENCLATURA

MSE = energía mecánica específica (psi)

F = presión sobre la broca (kN)

A = área de perforación (m²)

RPM = velocidad de rotación (rps)

TQ = torque (kN*m)

ROP = velocidad de penetración (m/s)

et = componente de presión (psi)

er = componente de rotación (psi)

CCS = resistencia a la compresión con confinamiento (psi)

FT = Pies.

GPM = Galones por minuto.

PDC = Compacto de diamante policristalinos.

UCS = Resistencia a la compresión de la roca sin confinamiento.

3. CONCLUSIONES

A través de la MSE es posible determinar mapas de parámetros de perforación, sirviendo como guía para mejorar la operación. La MSE permite realizar la selección de la broca con mayor desempeño para las condiciones de un campo en específico. La MSE responde rápidamente a cualquier cambio en los parámetros de

perforación o cualquier problema que afecte la eficiencia.

La MSE tiene una función adicional, como marcador litológico, permitiendo la identificación de topes o paquetes de arenas.

La CCS junto con la MSE, funciona como un buen indicador para cuantificar la eficiencia en la perforación.

Empleando los parámetros recomendados y la broca de mayor desempeño en el pozo de prueba, se observa un aumento de la eficiencia del 35% y de 90 ft/hr en cuanto a ROP efectivos para todo el desarrollo de la sección, la disminución de eficiencia se ve únicamente en las arenas donde se presentaron arcillas solubles y limolitas.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a todas las personas, amigos e instituciones que han colaborado y hecho posible el desarrollo y culminación de esta investigación, especialmente a ECOPETROL SA empresa patrocinadora de dicho proyecto, al director de este trabajo de grado Ing. Jorge Ramos por todo su apoyo, paciencia, dedicación y enseñanza, a los ingenieros Cesar Gómez, José Vicente Torres, Víctor Vera y José Julián Nieto por su tiempo y asesoría en el desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

Agencia Nacional de Hidrocarburos (anh). Colombian sedimentary basins, proyecto ronda 2012.

Armenta, M. Identifying inefficient drilling conditions using drilling-specific energy. spe 116667. Presentado

en Colorado USA, en el año 2008.

Baker, H. Drilling engineering workbook. (en línea). Capítulo 3, 1995, pág. 137. Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet: <<http://www.fanarco.net/>

Books./drilling_engineering_workbook_-_baker_hughes_inteq.pdf>

Barrenas, (en línea). Citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet: <<http://escueladeporfora.files.wordpress.com/2011/10/barrenas-coordinador.pdf>>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BROCAS

Bernal, J. Evaluación de la perforación direccional y el uso de brocas PDC en los pozos de desarrollo en el campo abanico. Trabajo de grado ingeniería de petróleos. Bogotá D.C. fundación Universidad de América, Facultad de ingeniería, Programa de ingeniería de petróleos, año 2008.

Burgoyne, A. Applied drilling engineering. Spe. 1991

Cruz, A. Ingeniería de perforación, (en línea). Citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet:<<http://es.scribd.com/doc/46228694/7/ensamblaje-de-fondo-bha>>

Curry, H. Technical limit specific energy-an index to facilitate drilling performance evaluation. Spe/iadc 92318 presentado en Amsterdam del 23-25 febrero 2005.

Drilling Consulting C.A. brocas e hidráulica de perforación. (en línea). Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet:<http://es.scribd.com/doc/56535204/brocas-e-hidraulica-de-presioneni>. Drilling design manual. (En línea). Citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet:<<http://es.scribd.com/doc/88887427/e-Ni-drilling-design-manual>> pag.150

Flórez, K. Evaluación del desempeño de las brocas PDC en la perforación direccional de pozos del campo Chichime-ne, gerencia central de Eco-petrol s.a. Trabajo de grado

ingeniería de petróleo. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería, Programa de ingeniería de petróleos, año 2011.

Galera, J. Correlación entre los parámetros de perforación y las propiedades geomecánicas del terreno (en línea). Pág. 1. Citado 17 de abril de 2012. disponible en internet: <http://subterra-ing.com/pdf/p-g-2006_correlacion-Parametros-perforacion.pdf>

González, A. Diseño del programa de brocas requerido para perforar el pozo direccional XD, (en línea), citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/71477908/28/perfil-direccional>>

Gordon, O. Seminario brocas de perforación nivel básico 2011, PDVSA

Halliburton. Brocas tricónicas y pdc partes y fotos. (en línea). Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet: <<http://www.ingenieriadepetroleo.com/2010/01/brocas-triconicas-y-pdc-partes-y-fotos.>>

Halliburton. Tecnología de perforación. (en línea). Citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet: http://www.4shared.com/office/y3y60iyo/tecnologa_de_perforacin_schlum.html

Hussain, R. Specific energy as a criterion for bit selec-

tion. Spe 12355.universidad de new castle el 8 de junio de 1985.

Infopetroleo. Brocas. (en línea). Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet:<http://www.infopetroleo.com/index2.php?Option=com_content&do_pdf=1&id=5> ingeniero de petróleos raúl antonio garcía, tesis de grado estudio del rendimiento de la broca hcm605z para la sección de 12 ¼" diseñada para la perforación de pozos horizontales en el campo tarapoa. Disponible en línea <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6238/1/tesis%20de%20grado%20antonio.pdf>

Ingeniera petrolera. Parámetros hidráulicos (en línea), citado 31 de mayo de 2012. Disponible en internet: <<http://ingeniera-petrolera.blogspot.com/2012/05/parametros-hidraulicos-i.html>>

López, I. Elementos de perforación. (En línea). Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/19414708/brocas-de-perforacion>

Mitchell, B. Advanced oil well drilling engineering, (en línea). Citado 31 de mayo de 2012. disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/39208394/mitchell-advanced-oil-well-drilling-engineering>> pag. 404

Pemex. Guía para la selección de barrenas (en línea), citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/39922670/seleccion-de-barrenas>

Prassl, w. Drilling engineering. (en línea). Pág. 111. Citado 17 de abril de 2012. Disponible en internet: <http://203.158.253.140/media/e-book/engineer/petroleum/drillingpercentage20engineering.pdf>

Pessier. R. Drilling performance is a function of power

at the bit and drilling efficiency. JPT, Año 2012

Reyes, S. Principios básicos brocas de perforación. Disponible en línea <http://es.scribd.com/doc/47067378/principios-basicos-barrenas>

Schlumberger. Programa de entrenamiento acelerado para supervisores, selección de barrenas en el proceso de selección de pozos

UPC. Análisis del proceso de perforación, (en línea), citado 31 de mayo de 2012.

Disponible en internet: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/01.pdf>

Varel. International world headquarters Dallas Texas USA, disponible en línea, http://www.varelintl.com/content/includes/navigator_spanish.pdf

Walker, R. Design of muds for carrying capacity, journal of petroleum technology, vol. 27, 893-900, 1975.