

# Implementación del Sistema de Intermittencia en las Unidades de Bombeo Mecánico en los Campos Teca y Nare\*

Adriana Hernández Cachaya  
Ing. de Petróleos.  
Universidad Surcolombiana.



## Resumen

**E**l presente artículo demuestra la importancia de implementar un sistema de intermitencia en los pozos de los campos Teca y Nare, ubicados en municipios de Puerto Boyacá y Nare respectivamente, correspondientes al Magdalena Medio Colombiano. El objetivo es el de disminuir la condición de golpe de fluido bajo la cual trabajan la mayoría de los pozos, los cuales al no ser debidamente controlados causan graves daños tanto en el equipo de superficie como en el de subsuelo, ocasionando que el sistema no funcione de manera eficiente, aumentando los costos de operación y producción así como los tiempos fuera de servicio por mantenimiento.

El alcance del trabajo, incluye la selección de los pozos candidatos para el piloto de intermitencia, la metodología a seguir para la determinación e implementación de los ciclos óptimos de intermitencia y los beneficios técnicos y económicos obtenidos en los pozos temporizados.

Este sistema de intermitencia tiene una gran aplicación en la industria, al atenuar o disminuir en gran parte los problemas asociados al golpe de fluido, lográndose de esta forma, ahorros en mantenimiento, consumo de energía eléctrica y disminución en el desgaste de la bomba, el motor y la unidad de superficie; siendo aplicado en cualquier pozo a un muy bajo costo.

\* Esta investigación se realizó en la modalidad de trabajo de grado para optar el título de ingeniera de petróleo en la Universidad Surcolombiana. La Facultad de Ingeniería otorgó a este estudio la Mención Meritoria. Director Ing. de Petróleos Marcos Useche Gamboa.

### Introducción

En los campos de las asociaciones COCORNA y NARE pertenecientes a la empresa OMIMEX DE COLOMBIA LTD, el método de recobro empleado para la recuperación de crudo se realiza por medio de la inyección cíclica de vapor debido a las altas viscosidades y a la baja gravedad API del crudo.

Los pozos cuentan con bombeo mecánico como sistema de levantamiento artificial y la eficiencia de llenado de la bomba de subsuelo se encuentra afectada por la inyección de vapor cíclica. Cuando la formación se encuentra caliente, el aporte de fluidos al pozo es alta; pero cuando se encuentra fría, la movilidad del crudo disminuye considerablemente y por ende el aporte de fluidos al pozo es menor, presentándose llenados parciales de la bomba, lo cual genera el golpe de fluido, sincronismo de varillas, mayores esfuerzos de la unidad de bombeo y aumento en los costos por los constantes servicios a pozos. Todos las unidades de bombeo mecánico de los campos Teca y Nare han presentando golpe de fluido en algún momento de su vida de producción.

Este problema frecuentemente se minimiza reduciendo la velocidad de bombeo y/o fijando una longitud de carrera corta, pero para las condiciones actuales de producción las unidades se encuentran sobrediseñadas no siendo posible reducir lo suficiente la rata de producción de la bomba para evitarlo. Es por esta razón que surge la necesidad de evaluar un mecanismo diferente con el fin de solucionar y minimizar en gran parte los problemas asociados con el golpe de fluido.

Con el sistema de intermitencia se busca temporizar aquellos pozos que presentan baja producción (pozos fríos de bajo potencial) con el fin de disminuir el golpe de fluido severo que presentan a través de la selección de tiempos de bombeo óptimos, garantizando que el llenado de la bomba sea el adecuado, evitando que se presenten los problemas asociados al golpe de fluido, lográndose de esta forma ahorros en mantenimiento, consumo de energía

eléctrica y disminución en el desgaste de la bomba, el motor y la unidad de superficie.

### Metodología

Para la realización del Piloto del Sistema de Intermittencia en las unidades de bombeo de los Campos Teca y Nare y la determinación de los tiempos óptimos de bombeo se llevó a cabo:

1. *Selección de los Pozos.* Se realizó consultando la información existente en campo almacenada en los archivos de producción de cada pozo teniendo en cuenta aspectos como:

- El estado mecánico de los pozos.
- La historia de producción,
- Los dinagramas y sonolog y
- La historia de inyección de vapor.

2. *Acondicionamiento de los Pozos.* En este punto, se revisó el estado actual de los motores eléctricos, tableros de control y se le instalaron los temporizadores electrónicos a los pozos que no lo poseían, acondicionándolos para que operaran de forma intermitente.

#### 3. *Recolección de Datos*

3.1. *Evaluación de condiciones iniciales:* Se determinaron las condiciones de bombeo actuales para los pozos seleccionados a través de la toma de dinagramas, niveles de fluido, consumo de energía eléctrica y pruebas de producción.

3.2. *Evaluación de tiempos de llenado y eficiencia de bombeo:* Se tomaron niveles de fluido y dinagramas con el pozo trabajando inicialmente; posteriormente, el pozo se cerró y se procedió a tomar los mismos datos durante diferentes intervalos de tiempo, hasta que el dinagrama mostrara una disminución en el golpe de fluido. Este procedimiento se realizó dos y tres veces en un mismo pozo con el fin de determinar los valores promedios para un tiempo dado. Los datos recolectados fueron consignados en las Tablas de Recolección de Datos de Campo.

4. *Análisis de la Información.* La información obtenida de los diferentes parámetros evaluados a los pozos, se tabuló y organizó mediante gráficas para facilitar el manejo e interpretación de la misma, con el fin de estimar el ciclo de intermitencia óptimo para cada pozo, así como de las condiciones de operación de las unidades con los cuales se logrará minimizar el golpe de fluido sin originar pérdidas de producción.

El ciclo de intermitencia correspondiente consta de dos tiempos: uno de cierre (tiempo "T OFF") y uno de funcionamiento (tiempo "T ON").

El "T OFF" corresponde al tiempo de cierre óptimo del pozo cuyo dinagrama muestra una reducción del golpe de fluido y el volumen de aporte de la formación al pozo en ese intervalo es el mejor. El "T ON" corresponde al tiempo de bombeo necesario para producir el volumen de fluido acumulado en el pozo durante el tiempo de cierre.

• Validación de los análisis de datos. Una vez determinados los ciclos óptimos de bombeo intermitente, se procedió a implementarlos en los pozos y a validar los resultados obtenidos a través de la recolección de datos de consumo de energía eléctrica y pruebas de producción de 24 horas.

5. *Realización del Estudio Económico.* Con base en los tiempos de intermitencia determinados, se realizó un estudio para conocer las bondades económicas del proyecto tomando en cuenta los costos en el consumo de energía eléctrica y el mantenimiento de cada pozo.

6. *Elaboración del Informe Final.* Una vez analizada la información obtenida en campo y realizado el estudio económico se elaboró el informe final del proyecto con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

#### *Pozos Seleccionados al Piloto de Intermitencia*

Los pozos seleccionados fueron aquellos que presentaron las siguientes características:

- Presencia de golpe de fluido severo.
- Que no fueran candidatos a inyección de vapor cíclica.
- Bajo potencial de producción.
- BSW bajo.

Luego de un detallado estudio de estos parámetros se seleccionaron cuatro pozos: N-X1, N-X9, T-X7 y T-X2.

#### *Resultados de las Pruebas*

- Datos Recolectados y Procesados en el Pozo N-X9.

Los datos de nivel de fluido ( $h$ ) fueron recolectados en campo, así como las eficiencias volumétricas fueron obtenidas de los dinagramas.

De acuerdo a los datos de campo recolectados, se procedió a determinar en cada delta de tiempo el volumen de fluido acumulado y el tiempo de bombeo de la unidad necesario para producir dicho volumen. Los cálculos necesarios para hallar estas variables son iguales en todos los pozos.

Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$\begin{aligned} Dh_i &= h_o - h_i \\ dv_i &= (ID_i - OD_i)^* \pi * L / 1029 \\ PD &= K * S * \text{spm} \\ Q_i^* &= n_i * PD / 100 \\ Ton_i &= V_i * 1440 / Q_i^* \end{aligned}$$

$Dh_i$ : Columna de fluido ganada en T;  $h_o$ : Lectura de nivel de fluido en T=0;  $h_i$ : Lectura de nivel de fluido a un T;  $V_i$ : Volumen de fluido acumulado en el anular en T;  $Béls$ : ID: Diámetro interno del liner, ins; OD: Diámetro externo de la tubería de producción, ins; S: Longitud de la carrera, ins; spm: Velocidad de bombeo; PD: Desplazamiento teórico de la Bomba, Bpd; n: Número de años a los cuales se espera el retorno de la inversión; BN: Beneficio neto (ingresos totales-costos totales) anual; r: Tasa de Retorno.

*Implementación del Sistema de Intermittencia en las Unidades de Bombeo Mecánico en los Campos Teca y Nare*

Tabla 1. Resultados del Procesamiento de Datos. Pozo N-X9.

Tiempo Cierre T off (Hr)	Nivel fluido h (ft)	Columna Fluido dhi (ft)	Volumen Fluido Vi (Bbls)	V. Fluido Ganado dVi (Bbls)	Eficiencia Volum. ni (%)	Caudal Esperado Q* (BPD)	Tiempo Bombeo T on (min)
0	2025,6	0,0	0	0	14,2	25,1	0
1	1984,8	40,8	1,12	1,12	25,0	44,3	36,6
1,6	1974,6	50,9	1,41	0,28	26,7	47,2	42,9
3	1960,4	65,2	1,80	0,39	27,5	48,7	53,2
6	1933,9	91,7	2,53	0,73	30,8	54,6	66,8
8	1923,7	101,9	2,81	0,28	33,0	58,4	69,3
12	1903,3	122,3	3,37	0,56	38,3	67,9	71,6

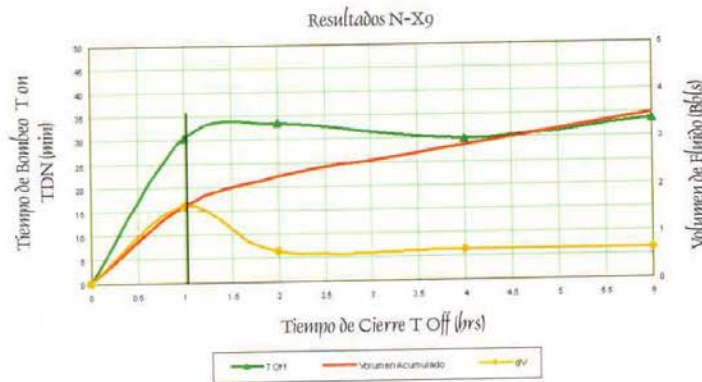
Tabla 2. Ciclos de Intermittencia Recomendados.

Pozo	T off (hr)	T on (hr)	Ciclos/día	Tiempo bombeo %	Dism strokes
N-X1	1.25	0.67	12.5	65.2	2347.8
N-X9	1.00	0.50	16	66.7	5760
T-X7	1.25	1.00	10.7	55.6	2400
T-X2	1.00	1.00	12	50.0	2520

Tabla 3. Resultados de la Implementación de los Ciclos de Intermittencia en los Pozos.

Pozo	Incremento producción		Ahorro energía	
	%	Bond	%	US\$ / año
N-X1	2.3	0.3	32.9	1000.52
N-X9	3.4	0.5	51.1	1647.2
T-X7	3.5	0.6	26.2	805.29
T-X2	1.4	0.2	19.6	607.63

Ejemplo. Pozo Nare X9



Gráfica 1. Resultados Promedios de las Pruebas. Pozo Nare X9.

### Análisis de Resultados

Con base en los resultados obtenidos, se realizaron gráficas y se estimó el ciclo de intermitencia óptimo para cada pozo.

a) Determinación del ciclo de bombeo intermitente. Los resultados obtenidos en la Tabla 1 para el Pozo N-X9 se encuentran en la Gráfica 1 en donde se observa que el tiempo de cierre óptimo para este pozo es de 1 hora puesto que el volumen de fluido acumulado en el anular es mayor que a tiempos de cierre más grandes. Así mismo, se observó que el tiempo necesario para bombear el volumen de fluido acumulado durante los 60 minutos de cierre a las condiciones de bombeo existentes corresponde a un valor de 30 min.

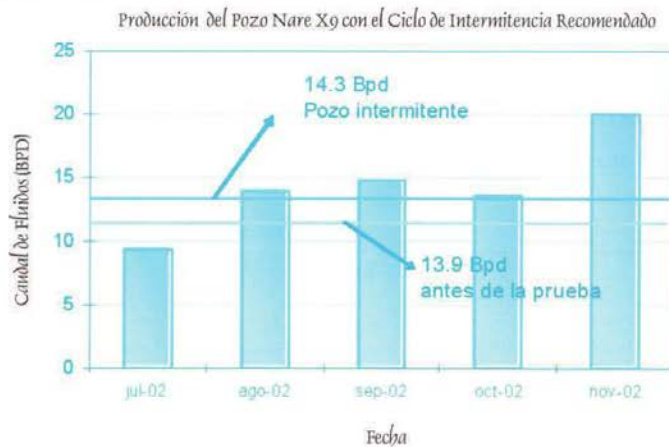
Con base en los análisis, se recomendó para el pozo, un ciclo de intermitencia de 1,5 hrs conformado por un tiempo de cierre de 1 hrs (60 min.), seguido de un periodo de bombeo de 0,5 hrs (30 min.). La unidad realiza 16 ciclos

por día con tiempos totales de cierre de 16 hrs y de bombeo de 8 hrs durante un día.

Implementado en el pozo N- X9 el ciclo de intermitencia recomendado, se obtuvo en términos de porcentaje una reducción en el tiempo de bombeo de 66,7% pasando la cantidad de golpes por día de 8640 a 2880 y la eficiencia volumétrica de la bomba aumenta de 9,6% a 20,5% disminuyendo y atenuando el golpe de fluido en la unidad de bombeo.

#### b) Validación de Resultados

• Pruebas de producción. En la Gráfica 2 se encuentran representados los datos de producción para el pozo N-X9 con una producción promedio de 13,9 barriles de crudo por día antes de realizarse la prueba. También se observa que la producción con el pozo operando de forma intermitente es de 14,3 barriles de crudo por día, presentando un incremento de 3,4% con respecto al potencial del pozo.



Gráfica 2. Producción del Pozo Nare X9 con los Tiempos Recomendados.

• Consumo de energía eléctrica. Usando los tiempos de cierre y de bombeo seleccionados se pasó de un consumo de energía diario de

211,2 Kw-hr a un consumo de 103,2 Kw-hr, lográndose así un ahorro de 51,1%.

Implementación del Sistema de Intermittencia en las Unidades de Bombeo Mecánico en los Campos Teca y Nare

Tabla 4. Ahorros en Consumo de Energía Eléctrica. Pozo N-X9.

Parámetro	Unidades	Valor
Consumo actual	Kw-hr / día	211,2
Consumo optimizado	Kw-hr / día	103,20
Ahorro de energía	%	51,14
	Kw-hr / día	108,00
Costos Ahorro Energía	\$ / día	12.636
	\$ / año	4.612.140

Evaluación Económica

Tabla 5. Cálculo de Ingresos.

Pozo	Producción incremental		Ahorro consumo de energía		Ahorro servicio	Beneficio Neto
	Bopd (1)	U\$/año (2)	kw-hr/día (3)	U\$ / año (4)	U\$ / año (5)	U\$ / año (6) = 2+4+5
N-X1	0.3	1,252.95	65.6	1000.52	240.6	2,494.07
N-X9	0.5	2,088.26	108	1647.19	240.6	3,976.05
T-X7	0.6	2,505.91	52.8	805.29	240.6	3,551.80
T-X2	0.2	835.30	39.8	607.63	240.6	1683.53

Tabla 6. Cálculo de Egresos.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario(U\$ / pozo)	Valor (U\$ / pozo)
Pruebas de Campo: Dinagrama y Nivel de Fluido	7	19	133
Temporizador: Instalación y Mantenimiento	1	200	200
Costo Total.....			333

Indicadores Financieros

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{BNt}{(1+i)^T} - Inversión Inicial$$

$$T = \frac{Inversión Inicial * 12}{Beneficio Neto}$$

$$VPN = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{BNt}{(1+TIR)^T}$$

Tabla 7. Resultados de la Evaluación Económica del Proyecto.

Pozo	VPN U\$ / año	Tiempo recuperación meses	TIR
N-X1	1997.3	1.6	6.49
N-X9	3381.9	1.0	10.94
T-X7	2985.5	1.1	9.67
T-X2	1240.0	2.4	4.06

### Conclusiones

• A partir de los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que el proyecto de implementar la intermitencia en los pozos de los campos Teca y Nare presenta buenas posibilidades por cuanto es factible a nivel técnico y económico.

• En los pozos temporizados con los ciclos de intermitencia recomendados, el consumo de energía eléctrica disminuyó en un rango del 19 al 33% al reducirse los tiempos de trabajo de la unidad.

• Los resultados de las pruebas de producción mostraron que los tiempos de intermitencia implementados fueron adecuados por cuanto se presenta un leve incremento de producción del 2 al 4%. En ningún caso se presentan pérdidas de producción.

• La evaluación de la disminución en los trabajos de mantenimiento y los servicios a pozo no se pudo realizar debido a la corta duración del período de prueba. Para determinar el ahorro que se podría generar por este concepto, se recurrió a la experiencia reportada en papers en donde se puede esperar una disminución del 10 al 20% en estos tipos de trabajos.

• Con la implementación de la intermitencia en los pozos, se logró atenuar y disminuir la cantidad de impacto de martillo en la unidad de bombeo por golpe de fluido al seleccionarse una adecuada relación entre los tiempos de cierre y de bombeo y así aumentar la vida útil de estos equipos.

• La determinación del ciclo de intermitencia óptimo para cada pozo es fundamental porque de esta forma se evitarían pérdidas de producción por tiempos de cierre muy prolongados.

### Bibliografía

Delta X Corporation. "Dxi-40a pump-off control system". Houston: la corporación. 1993. p. 53.

Lufkin Industries. "Lufkin sucker rod pumping units". Texas: Lufkin Inc. 1990. p. 29.

Ramírez, Juan. y Rojas, Carlos. "Implementación de un controlador de pump-off para el Campo Lisama". En:

Tesis Universidad Surcolombiana. Neiva. 1995. p. 260.

Sargent. "701 digital control (pump-off controllers)". In: Odessa, Texas: la corporación. 1992.

Tolbert, H. O. "Experience with pump-off control in the Permian basin". In: SPE 14345. Julio - Septiembre. 1985.