

APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN AL PROCESO DE CEMENTACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS.

Ing. Santo Enrique Cárdenas del Sol¹.

Lic. Mabelys Toledo Rodríguez²

*1 y 2. Sede Universitaria Aida Pelayo Pelayo, sita en calle Real entre Tenería y Fomento, Cárdenas,
Matanzas, Cuba*

Resumen

El presente trabajo resume la aplicación de la programación de operaciones en el proceso de cementación de pozos de petróleo y gas, de manera que se pueda mostrar esta importante herramienta en la estrategia de aquellas empresas que se dedican a estas actividades, su debido uso, y explotación como factor determinante para la decisión comparativa entre la capacidad disponible del centro y la carga requerida por las operaciones ya asignadas, así como su secuencia y el tiempo límite y total del proceso para obtener resultados satisfactorios en cualquier producción en aras de ir logrando que su nivel de utilidad finalmente cumpla con las expectativas y contribuya con el desarrollo propio de nuestro sistema empresarial, elevando de esta forma su competitividad en el ámbito social.

Palabras claves: cementación, programación, asignación de carga, secuenciación, temporización

Introducción

La producción de petróleo a nivel mundial constituye uno de los renglones más importante para el desarrollo de la sociedad, mas aun cuando se conoce que es una fuente no renovable de energía y todo esfuerzo que se haga en función de la localización de sus yacimientos y la explotación de los mismos se revierte en beneficio, hoy en día repartido de manera desigual debido a la globalización y a las fuertes incidencias de los países poderosos.

En Cuba las evaluaciones históricas a las que se suman las nuevas valoraciones concluyen que en Cuba sí hay un potencial petrolero considerable en tierra, en aguas someras y fundamentalmente en aguas profundas, lo cual se reafirma con cada estudio que se va concluyendo y con los nuevos yacimientos. El organismo rector cubano estima que este potencial es muy alto, principalmente en la mitad norte de la Isla y bajo las aguas profundas de la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México.

La perforación de pozos de petróleo y gas es la vía más efectiva para incrementar las reservas de crudo y con ellos los niveles de producción nacional.

El sistema de revestimiento del pozo que se perfora constituye uno de los varios renglones de la perforación más ligados a la seguridad del pozo durante las operaciones, las tareas de terminación y su vida productiva. En el proceso de inserción de la tubería, ésta puede atascarse y ocasionar serios problemas que pueden poner en peligro la integridad y utilidad del pozo. Los revestidores y su cementación pueden representar entre 16 y 25 % del costo de perforación, de acuerdo al diámetro, longitud y otras propiedades físicas de cada sarta de tubos.

Proceso de Cementación de un Pozo de Petróleo y Gas

La cementación constituye una operación de singular importancia, tiene por objeto obtener la unión de la tubería con la pared del pozo para:

- Evitar que las aguas superficiales contaminen los acuíferos.

- Evitar la comunicación de un acuífero utilizable con otro u otros contaminados o que constituyan un horizonte ladrón o que se pretendan utilizar.
- Aumentar la resistencia mecánica y a la corrosión de las tuberías de revestimiento.
- En casos especiales proporcionar a un tramo de pozo la hermeticidad necesaria para realizar en él inyecciones a presión, bien sea para hacer un desarrollo con dispersantes o por acidificación, o por fracturación hidráulica.

No obstante, en ocasiones se pueden realizar cementaciones con otros objetivos como formar un tapón de sellado en el fondo del pozo o corregir desviaciones (o a veces para provocarlas) durante la perforación. El tipo de cemento y los aditivos que se utilicen dependerán de cada caso en concreto. Por ejemplo, para cerrar grandes cavidades durante la perforación se suele emplear cemento al que se le ha añadido productos colmatantes y/o expansivos.

En el caso de cementaciones parciales de la tubería si se intenta aislar una capa "contaminante", la elección del tipo de cemento debe realizarse en función de parámetros físico-químicos tales como la litología del terreno, la composición química del agua, etc., pero también de las propias limitaciones de los equipos de cementación en cuanto a capacidades (volumen y presión) de inyección de la lechada.

Circunstancias que requieren Cementaciones

- Cementaciones durante la ejecución del sondeo. A lo largo de la perforación del sondeo puede ser necesario realizar operaciones de cementación de determinados tramos por problemas de estabilidad, pérdida de circulación de lodos, etc.
- Presencia de formaciones o niveles "no deseables" (formaciones que interesa aislar del resto del sondeo porque plantean problemas hidroquímicos, por la presencia de fracciones finas, mala estabilidad, etc.).
- Cementaciones del fondo del sondeo o entre tramos de distinto diámetro en [columnas telescópicas](#), cuyo objetivo es asegurar físicamente las columnas de entubación.
- Sellado de captaciones. Se recomienda en casos de sondeos con fuertes surgencias, difíciles de controlar, sondeos con emanaciones naturales de gas, focos de contaminación, sondeos de inyección de residuos (tóxicos, radiactivos), etc.

Al considerar el diseño y la selección de la sarta de revestimiento, los factores técnicos se centran sobre el diámetro, el peso (kilogramos por metro), su longitud y la naturaleza de las formaciones.

La sarta primaria: por ser la primera que se cementará dentro del pozo, su diámetro será mayor que los de las otras. Su longitud es corta en comparación con las otras del mismo pozo. Esta sarta primaria es muy importante por las siguientes razones: sirve para contener las formaciones someras deleznable; impide la contaminación de mantos de agua dulce, que pueden ser aprovechados para el consumo humano y/o industrial; juega papel importante como asiento del equipo de control del pozo (impide reventones, válvulas, etc.) durante toda la perforación de formaciones más profundas y posteriormente para la instalación del equipo de control (cabezal) del pozo productor.

Las sartas intermedias: el número de sartas intermedias difiere de un campo a otro. Puede que una sea suficiente o que dos sean las requeridas.

Características físicas de la tubería revestidora

La fabricación de la tubería para sartas revestidoras y de producción, como también para la tubería de perforación, se ciñe a las especificaciones fijadas por el *American Petroleum Institute* (API, Normas RP7G y 5A, 5AC, 5B, 5C1, 5C2, 5C3). Todas estas tuberías son del tipo sin costura, traslapada por fusión en horno y soldada eléctricamente, utilizando aceros que deben ajustarse a exigentes especificaciones físicas y químicas.

La calidad de la tubería que se desea obtener se designa con una letra, seguida por un número que representa el mínimo punto cedente en tensión, en millares de libras por pulgada cuadrada: H-40, K-55, C-75, C-95, L-80, N-80, P-110 ($40.000 \times 0,0703 = 2.812 \text{ kg/cm}^2$, y así sucesivamente).

Al primer tubo que va en el pozo se le enrosca y se le fija por soldadura en su extremo inferior una zapata de cementación. Para reforzar la función de la zapata y coadyuvar en la mecánica de la cementación, se dispone que a cierta distancia del primer tubo se coloque entre dos tubos una unión o cuello flotador.

En ciertas oportunidades, para lograr mejor adhesión entre el cemento y la pared del pozo, se le añaden raspadores a la sarta. Estos raspadores, que pueden consistir de láminas en formas de tiras largas donde van incrustadas los alambres o de anillos cuyos alambres sobresalen circunferencialmente, raspan la pared del pozo con el fin de desprender el exceso de revoque que la cubre para facilitar que el cemento cubra directamente las formaciones.

Definiciones

Con la toma de decisiones sobre programación, se asignan las capacidades de recursos disponibles (equipos, mano de obra y espacio) a proyectos, actividades, tareas o clientes a lo largo del tiempo. La programación como decisión de asignación, utiliza como entradas los recursos de las decisiones que se han tomado sobre el diseño de las instalaciones y la planeación agregada. Da como resultado un plan proyectado sobre el tiempo (o programa) de actividades. El programa indica lo que debe hacerse, cuándo debe hacerse, quién lo debe hacer y con qué equipo.

La programación de la producción está formada por determinadas funciones que le permiten cumplir con su objetivo.

- ❖ Asignación o carga (*Loading*): Asignación de las operaciones a centros de trabajo, decisión que se adoptará por comparación entre la capacidad disponible del centro y la carga requerida por las operaciones ya asignadas al mismo.

Para representar las cargas en la programación de operaciones pueden emplearse muchas técnicas de programación de operaciones. El tipo de técnica utilizada depende del volumen de las órdenes, la naturaleza de las operaciones y la complejidad global del trabajo. En general, las técnicas de programación pueden diferenciarse según se tenga en cuenta la capacidad, lo que hace que en ocasiones se considere la capacidad infinita o finita según lo que sea más ventajoso.

- ❖ Carga infinita: Con los sistemas de carga infinita los trabajos se asignan a los centros de trabajo sin tomar en cuenta la capacidad del centro de trabajo; los trabajos reciben la carga del programa de producción que los distribuye al centro de trabajo como si su capacidad fuera ilimitada. Los gráficos de *Gantt* y los perfiles visuales de carga pueden ser de utilidad para realizar esta representación.

- ❖ Carga finita: Es otra técnica de programación que combina en un solo sistema la carga, la prioridad y la programación detallada. En contraste con la carga infinita, los sistemas de carga finita se inician con un nivel específico de la capacidad para cada centro de trabajo y una lista de órdenes del potencial de trabajo. La capacidad del centro de trabajo se asigna luego unidad por unidad (por ejemplo: horas de mano de obra) a los centros de trabajo mediante una simulación de los tiempos de comienzo y de terminación de los trabajos. Entonces, el sistema hace un programa detallado para cada orden de trabajo y para cada centro de trabajo, basándose en los límites finitos de la capacidad. Los trabajos se asignan a los centros de acuerdo con sus futuras capacidades, hora tras hora y día tras día.

Asignación, según Fundora Miranda (1987), aborda aquellos problemas que se presentan cuando se tienen varias alternativas para la ejecución de un trabajo, pero existen limitaciones en la cantidad de recursos o en el modo de utilizarlos. En tal sentido se quiere distribuir los recursos de forma que se logre la alternativa más eficiente. En la función asignación o carga, coinciden *Companys Pascual, R.* (1989), *Everett, E* (1991), *Schroeder, R* (1992), *Maynard* (1984), Fundora Miranda (1987) que entre los métodos factibles a utilizar se encuentran el Método de los Índices, el de Transporte y el Húngaro, entre otros.

Secuenciación (*Sequencing*): Secuenciación de las operaciones asignadas a un centro de trabajo para establecer su orden de ejecución.

En la etapa de planificación de la producción, una vez terminada la cantidad de trabajo que se debe realizar en un periodo de tiempo dado acorde, con las posibilidades y las normativas a utilizar, el siguiente paso, es determinar cuando debe realizarse cada trabajo, es decir, el orden de fabricación en cada subdivisión productiva.

Según Fundora Miranda, A (1987), La secuenciación consiste en determinar, para n trabajos que se realizan en m subdivisiones productivas, cuál sería la secuencia más racional de procedimiento de los mismos.

Tipos de programas dentro del marco de la secuenciación.

Programas ordenados: son los programas en que el orden tecnológico para todos los trabajos es el mismo en todas las subdivisiones, puestos o centros productivos. Este caso se genera para n trabajos o artículos, $n!$ secuencias o itinerarios diferentes. Este tipo de programa es típico de los talleres de producción en línea, es decir aquellos asociados a producciones en masa.

Métodos de secuenciación para programas ordenados: tres algoritmos que permiten realizar la secuenciación en programas ordenados para n trabajos cuyo orden tecnológico sea el mismo:

Método de *Johnson* (para 2 máquinas y n trabajos)

Método de *Johnson* Modificado (para 3 máquinas y n trabajos)

Método de *Campbell – Duke – Smith* (C.D.S) (para n trabajos y m puestos de trabajo)

Programas no ordenados: es aquel en los que el orden de las operaciones tecnológicas de los artículos o trabajos no es igual en la subdivisión productiva. En este caso la cantidad de secuencias o itinerarios posee dependencia tanto del número de puestos u operaciones de trabajo (m) que intervienen en la fabricación del artículo, como del número de artículos siendo la cantidad secuencias o itinerarios de $n!^m$. En este caso se incrementan las secuencias posibles a obtener y el programa es propio de talleres con producción intermitentes.

Temporización (*Scheduling*): Determinación de los instantes de inicio y fin (programados) de cada operación.

En ocasiones resulta sumamente amplio el número de secuencias factibles a realizar en la ejecución de un trabajo dado, podrán ser varias las que satisfagan un objetivo, necesidad específica o estrategia fijada para la realización de la producción. El compromiso con una de ellas deberá ser basado entonces en aquella que cumpla con los menores tiempos de procesamiento y por lo tanto brindarán una mayor economía al sistema. Tal selección pudiera estar sustentada en el conocimiento de los valores asociados al Tiempo Límite de Procesamiento (TLP) y al Tiempo Total de Procesamiento (TTP), de cada una de las distintas o factibles secuencias.

Pasos a seguir para la determinación del Tiempo Límite de Procesamiento.

Según Fundora Miranda (1987)

- 1) Se determina la carga total (Q) para cada subdivisión productiva o puesto de trabajo y se selecciona la mayor ($Q_{\text{máx}}$)
- 2) Determinar el valor menor de la suma de los tiempos de procesamiento para cada uno de los artículos que se realizan en los puestos de trabajo, anteriores al seleccionado como el de mayor carga.
- 3) Determinar el valor menor de la suma de los tiempos de procesamiento para cada uno de los artículos que se realizan en los puestos de trabajo, posteriores al seleccionado como el de mayor carga.
- 4) Calcular el TLP sumando los valores que se obtienen en los pasos anteriores.

Aunque no son las únicas, existen tres variantes para su cálculo:

1. Utilizando los gráficos de *Gantt*
2. Utilizando la teoría de las redes
3. Utilizando el método tabular.

Aplicación de la Programación al Proceso de Cementación de Pozos de Petróleo y Gas.

En un pozo por ejemplo donde se halla alcanzado una profundidad de 1200 metros, en ocasiones se colocada una sarta primaria de 20" (508 milímetros) a 300 metros, una sarta intermedia de 13 3/8" (339.72 milímetros) a 1200 metros y se dispone a colocar otras sarta intermedia en la medida que avance la ejecución de la perforación hasta alcanzar la profundidad máxima según proyecto técnico previsto. La Cementación se realiza por secciones y a continuación brindamos las características de esta primera etapa que conforman el trabajo en cuestión.

Profundidad	Descripción de la camisa o sarta	Longitud	UM	Cantidad
Primera Sección 0 – 300 m	Camisa de diámetro (20") K-55 de 94 lb/pie a 300mBMR	298 m	U	30
Segunda Sección 200-1200	Camisas de 13 3/8" K-55 de 61 lb/pie a 1200mLI	1200 m	U	120

Tabla 1. Características tecnológicas de la sarta o camisa a cementar

Para el llenado se utilizará lodo de baja densidad o agua de capa. Se circulará con lodo que tenga las características técnicas que exige el caso.

Asignación o carga:

Se utilizará el método de la carga infinita (Everett, 1991) por considerarse el más ventajoso en el caso objeto de estudio, atendiendo a las características propias de la perforación donde todas las actividades, trabajos o tareas se realizan en el pozo.

No	Operaciones a realizar para la Cementación	Tiempo de Duración	Cantidad de R.R.H.H
1	Recibir Proyecto Técnico del pozo y valorar el mismo	X	X
2	Llevar muestra de cemento, agua y aditivos al laboratorio	X	X
3	Trasladar equipos (tanques, silos y cementador) para pozo	X	X

4	Realizar todas las instalaciones (conexiones y accesorios)	X	X
5	Ejecutar la cementación	X	X
6	Retirar instalaciones, realizar limpieza y recogida del área	X	X
7	Regresar equipos a la base	X	X
8	Evaluación final de la cementación	X	X

Tabla 2. Operaciones para la cementación.

En la ejecución de estas actividades se tiene previsto un equipo de trabajo encabezado por el responsable de la brigada de cementación y su contrapartida el técnico supervisor del pozo y se le asigna el tiempo (X) correspondiente para cada una de las actividades que se

Secuenciación:

Considerando que el orden tecnológico en la cementación es único para todos los trabajos se utilizará el procedimiento dado por Fundora Miranda (1987) para la determinación del TLP y el TTP en programas ordenados

Ejemplo de aplicación a la Cementación teniendo en cuenta las actividades prevista anteriormente

Selección de la mejor secuencia de la cementación

Operaciones Puestos	Operaciones								Total hrs
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	48	-	24	8	2	8	24	1	115
2	-	72	24	8	2	8	24	1	139

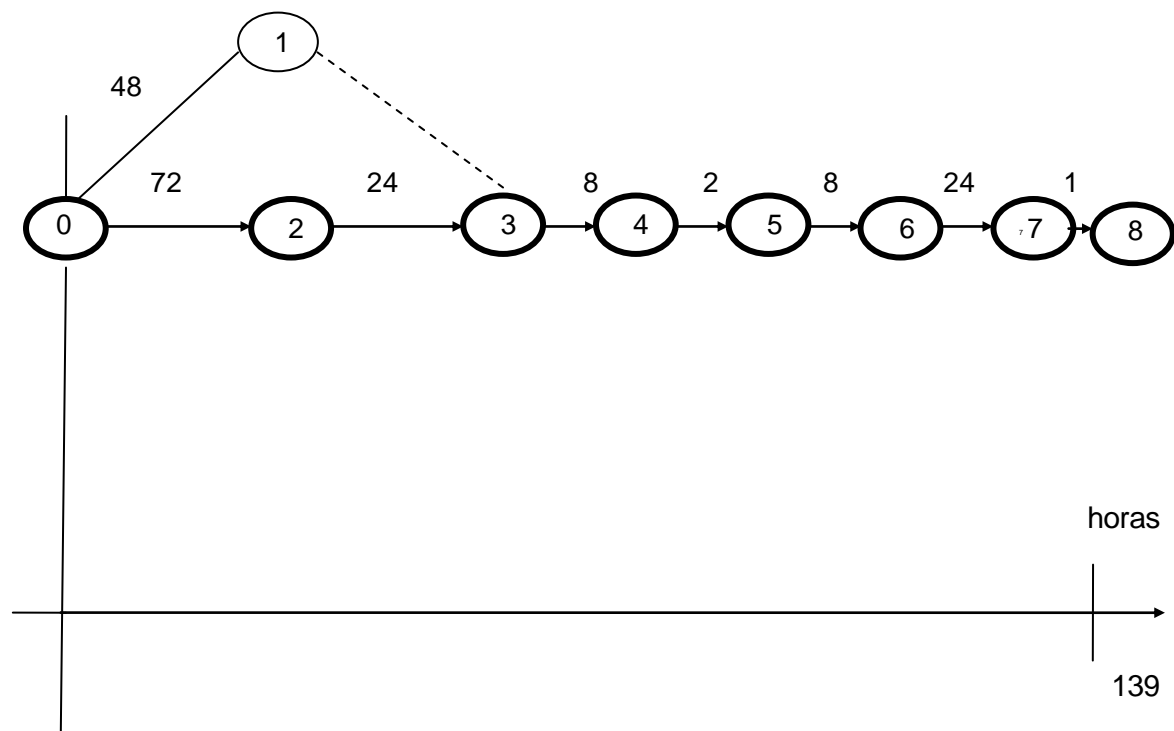
Tabla 3. Secuencia de operaciones de la cementación

Determinación del Tiempo Límite de Procesamiento (TLP), según Fundora Miranda (1987)

- ❖ Carga total máxima igual 139 hrs
- ❖ Menor valor de los tiempos anteriores al seleccionado es 1
- ❖ Suma de los tiempos posteriores al valor seleccionado es igual a 1
- ❖ $TLP = 139 + 1 + 1 = 141$ hrs

Cálculo del Tiempo Total de Procesamiento (TTP), utilizando la Teoría de las Redes.

Determinación del Tiempo Total de Procesamiento (TTP) a través de la Teoría de Redes



La

ruta crítica es: 0 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8

TTP = 139 horas

Temporización:

Determinación de la laboriosidad que no es más que el tiempo que demora realizar las operaciones y por consiguiente el tiempo límite de la cementación. Los tiempos se definen por criterio del supervisor y el responsable de la brigada de cementación y están dados en función de las características de la zona donde se han realizado los estudios y actualmente se perfora. En una tabla se muestra la distribución de las operaciones, o sea la determinación de los instantes de inicio y fin de cada una de estas actividades, desglosando detalladamente cada una de ellas.

No	Descripción de las secuencias de las operaciones	To	Tp-c	Te	Sub Tt (hrs)
1	1.1				
	1.2				
	1.3				
	1.4				

Tabla 4. Tabla de distribución de operaciones

Donde:

T_o , es el tiempo de operaciones, está determinado por las maniobras que se desarrollan en cada operación.

T_{p-c} , es el tiempo preparatorio conclusivo, es el tiempo que se necesita para iniciar y concluir las tareas determinado por su relación con otras actividades.

T_e , es el tiempo de la espera que ocasiona la falta de materiales, la disponibilidad de los obreros o la influencia de terceros.

Conclusiones

En el referido trabajo llegamos a la conclusión de la importancia que reviste la aplicación de la programación de las operaciones en el ámbito empresarial, su debido uso, y explotación como herramienta para la decisión comparativa entre la capacidad disponible del centro y la carga requerida por las operaciones ya asignadas, así como su secuencia y el tiempo límite y total del proceso para obtener resultados satisfactorios en cualquier producción.

Bibliografía

Arjona Siria, Antonio. La Producción y su Estructura./Antonio Arjona Siria.--Bilbao:Editorial DEUSTO, 1979.

Fundora Miranda, Albertina:"Organización y planificación de la producción", Tomo II, Editorial IPJAE, C.H., 1987.

Schroeder, Roger G.: "Administración de Operaciones", Editorial *Enteramericana* de México, - S.A. de C.V., 1992