



## Metodología Value Stream Mapping (VSM) aplicada a procesos de perforación de pozos petroleros en México

Nemías Vasques Morales<sup>1</sup>

[nemovasm@gmail.com](mailto:nemovasm@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0003-6775-929X>

Posgrado CIATEQ A.C.

México

Carlos Belisario Castañeda Castañeda

[carlos.castaneda@ciateq.mx](mailto:carlos.castaneda@ciateq.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-1351-8653>

Posgrado CIATEQ A.C.

México

### RESUMEN

Con los cambios recientes en el sector energético a nivel mundial, la industria petrolera enfrenta retos importantes en la extracción de hidrocarburos, por lo que se ha priorizado la implementación de operaciones que permitan esta actividad de forma eficiente y optimizada. En este trabajo se analizará la aplicación de una de las herramientas del Lean Manufacturing, el VSM (Value Stream Mapping) con la finalidad de identificar posibles mejoras y disminución de tiempos no productivos en los procesos de perforación de pozos petroleros, de acuerdo a las experiencias previas en campos desarrollados en México. Se pretende demostrar que herramientas de análisis de eficiencia para la manufactura pueden adaptarse a industrias pesadas como la petrolera y en particular del área de perforación.

*Palabras clave:* lean; operaciones; tiempos no productivos

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [nemovasm@gmail.com](mailto:nemovasm@gmail.com)

## **Value Stream Mapping (VSM) methodology applied to oil well drilling processes in Mexico**

### **ABSTRACT**

With recent changes in the energy sector worldwide, the oil industry faces significant challenges in the extraction of hydrocarbons, which is why the implementation of operations that allow this activity in an efficient and optimized manner has been prioritized. In this work, the application of one of the Lean Manufacturing tools, VSM (Value Stream Mapping) will be analyzed with the purpose of identifying possible improvements and reduction of non-productive times in the oil well drilling processes, according to experiences. previous ones in developed fields in Mexico. The aim is to demonstrate that efficiency analysis tools for manufacturing can be adapted to heavy industries such as the oil industry and in particular the drilling area.

***Keywords:** lean; operations; non-productive times*

*Artículo recibido 18 setiembre 2023  
Aceptado para publicación: 27 octubre 2023*

## INTRODUCCIÓN

El Tiempo Perdido (Lost Time) también conocido como Tiempo No Productivo (NPT) en los procesos de perforación petrolera es cualquier evento que interrumpe el progreso de una operación planificada causando un retraso de tiempo; incluye el tiempo total necesario para resolver el problema hasta que se reanuda la operación desde el punto o la profundidad donde ocurrió el evento que ocasiona el tiempo perdido. NPT se utiliza para reflejar el tiempo perdido, para describir el tiempo plano causado por problemas, como problemas de fondo de pozo, fallas de equipos y eventos ambientales imprevistos. El tiempo requerido para alguna rutina u operación adicional llevada a cabo como resultado de una falla es definido como Tiempo No Productivo o NPT (Rabia, 2001). Sin embargo, (Keene, 2010) cree que la industria no debería mantener la definición del TNP, ya tiene un enfoque tan limitado. Según él, el TNP es todo aquello que no se alinea con el plan de pozo original y debe contarse como tal, de modo que los operadores y los contratistas de perforación realmente entienden a dónde se va el valioso tiempo de perforación. Según Gow, (2005), existen cinco tipos principales de equipos de perforación de pozos, que incluyen;

- Equipos terrestres que se utilizan en tierra firme.
- Equipos lacustres
- Equipos para operaciones marinas, tanto de aguas someras como profundas que utilizan plataformas fijas y flotantes para su estabilidad.

Hoy en día, a medida que continúa la caída drástica de los precios del petróleo, un objetivo importante de las compañías petroleras se ha convertido en mejorar la eficiencia de perforación y minimizar los costos que han aumentado de manera significativa. Según Svenson (2015), perforar los yacimientos superiores lleva el doble de tiempo hoy en día en comparación con hace 20 años, cuando los yacimientos no eran tan profundos. El costo de cualquier proyecto para desarrollar campos petroleros incluye diversos aspectos a considerar tales como: el costo del equipo de perforación offshore u onshore, revestimientos, personal, fluidos de perforación, herramientas, etc. Sin embargo, una gran parte del costo del pozo considera el tiempo sensible, lo que significa que el costo total depende del tiempo que lleva perforar un pozo y completarlo con éxito. Por lo que el sector de Oil & Gas ha implementado la evaluación de indicadores claves de desempeño (KPI) para las diversas operaciones y actividades. El

objetivo principal del uso de KPI es reducir los costos de perforación, eliminar los riesgos de perforación y mantener la integridad operativa (Hernández y Torres 2011).

Por otro lado, hay ciertos problemas que escapan a la planeación previa que realizan las operadoras. Problemas de inestabilidad del pozo en operaciones de exploración y perforación cuestan a la industria más de 100 millones de dólares por mes y en todo el mundo posiblemente tanto como mil millones de dólares anuales (Moazzeni, Nabaei, & Azari, 2011). La perforación es un proceso complejo, a pesar de los sistemas que integran las múltiples variables consideradas en la planificación de un pozo, aún siguen apareciendo eventos no planeados (Kaiser & Pulshiper, 2007).

Para poder optimizar los procesos de la perforación de pozos en campos mexicanos, se ha echado mano de herramientas derivadas de la aplicación del concepto de Lean Manufacturing o Mufatura Esbleta, que se puede definir como un acercamiento multidimensional que consiste en el desarrollo de operaciones con el mínimo costo, a través de procesos de mejora continua, que tienen un impacto positivo en la ejecución de las diferentes actividades (Taj and Morosan, 2011). Según Heizer & Barry (2014), la optimización se define como un proceso mediante la identificación de la mejor solución de un problema. que se dirige al punto máximo mediante el uso de diversas alternativas en términos de costos, utilización de herramientas, personal recursos, tiempo, utilización de energía y otros. Si bien actualmente existen varios métodos diferentes y herramientas que podrían aumentar la eficiencia y la ventaja competitiva, muchas empresas de petróleo y gas durante la última década han reconocido los principios de Lean de Womack and Jones (1996), como el vínculo esencial entre la gestión del desempeño y la creación de valor final, en términos de brindar transparencia, control y mejora continua. La herramienta que buscamos implementar es el Mapeo de Flujo de Valor conocida como VSM, (Shook, 2010), Define al Value Stream Mapping como una herramienta del Lean Manufacturing que mediante el mapeo de la cadena de valor nos ayuda a visualizar los flujos del proceso y definir la situación futura deseada e identificar sus desperdicios, permitiendo detectar fuentes de ventaja competitiva, ayuda a establecer un lenguaje común entre todos los usuarios del mismo y comunica ideas de mejora enfocando al uso de un plan priorizando los esfuerzos de mejoramiento.

La herramienta VSM muestra el flujo de materiales y de información desde el proveedor hasta el cliente, plasma de manera sencilla y visual todas aquellas actividades realizadas actualmente para obtener un

producto o servicio, con el fin de identificar la cadena de valor. (Rajadell & Sánchez, 2010)

En este contexto, el Mapa del Flujo de Valor (Value Stream Mapping) es una metodología que permite gestionar en toda su amplitud la cadena de valor de una empresa, identificando las actividades que no agregan valor para su eliminación y/o reducción. De esta forma, se puede aumentar la efectividad de las operaciones junto con la respectiva satisfacción de los clientes.

## METODOLOGÍA

El objetivo al elaborar esta investigación es definir el rumbo del proceso productivo de la perforación de pozos petroleros, de manera muy general y construir un mapa del flujo de valor actual y un mapa de flujo de valor del estado futuro, fig. 1. Posteriormente, aplicando el Kaizen en las operaciones que puedan provocar atrasos, adaptando las operaciones típicas de la perforación de pozos exploratorios ya sean marinos o terrestres. Con Kaizen nos referimos a una cultura de mejora continua y llevada en el tiempo que se centra en eliminar los desperdicios en todos los sistemas y procesos de una empresa (Rodríguez, 2015).

**Figura 1**  
Modelo VSM



Un Value Stream Mapping se utiliza para documentar los pasos en un proceso productivo y ayuda a reducir tiempos de ciclos, identificar procesos que agregan y no agregan valor para el cliente ya sea interno o externo (American Society for Quality, 2022). Consta de ocho pasos según la ASQ y siete según Lean Six Sigma Pocket Toolbook, las que aquí se presentan, las cuales son:

- Determinar productos individuales, servicios, o familia de productos.
- Diseñar el flujo del proceso.
- Agregar el flujo de material.
- Agregar el flujo de información.
- Recolectar datos y conectarlos con las cajas en el gráfico.

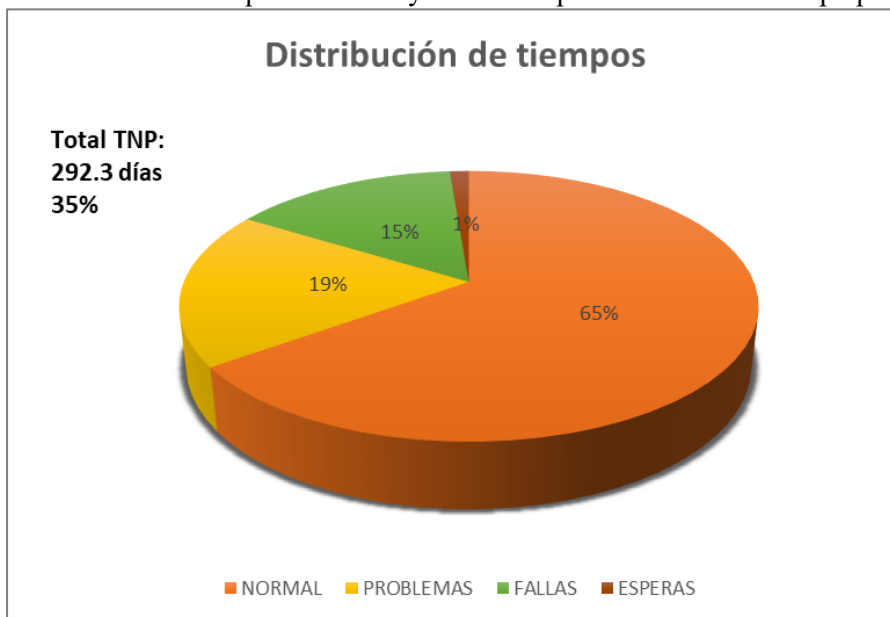
- Agregar procesos y los tiempos de espera en el gráfico.
- Verificar el mapa.

La propuesta consiste en realizar un mapa de flujo muy básico, herramientas y técnicas del Sistema de Producción Esbelta utilizado para establecer el flujo de una sola pieza (en este caso de las operaciones principales de la perforación) en la línea. Se implementaron varios Kaizen para reducir el tiempo de ciclo, número de trabajadores y mudas. De lo anterior, se pueden plantear las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las operaciones innecesarias que se pueden eliminar?
2. ¿Qué elementos deben optimizarse?
3. ¿Cuáles son los procesos o mejoras que se pueden agregar?

Para este trabajo se tomaron como base los datos de tiempos de perforación de reportes de pozos perforados en México durante 2022 (Comisión Nacional de Hidrocarburos 2022), para una mejor aproximación sobre casos reales, tal como se ve en la fig. 2.

**Figura 2**  
Distribución de tiempos normales y TNP en la perforación de un campo petrolero.

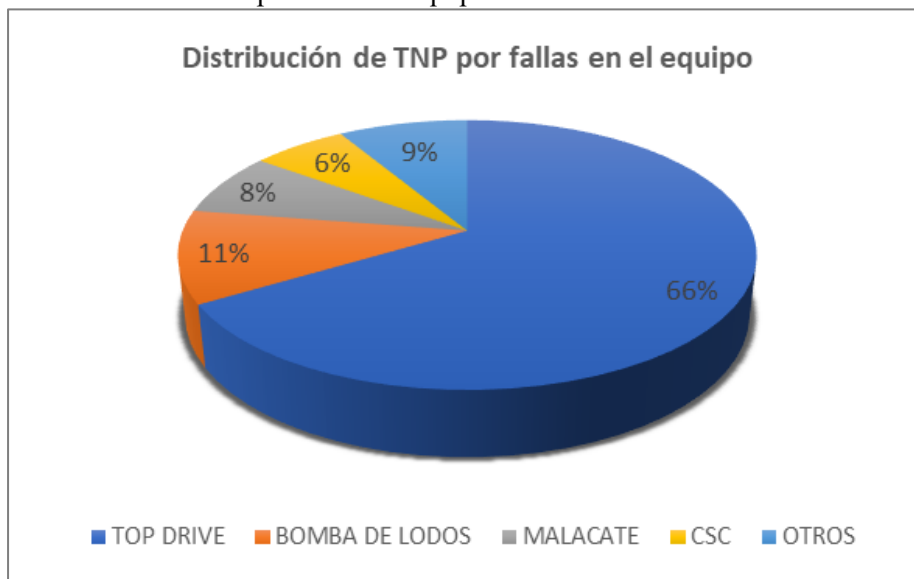


De lo anterior se puede observar que el tiempo normal es el que está asociado a las operaciones que se consideran como programadas o propias del proceso, en perforación sería el avance de las horas por profundidad logradas en cada etapa. Existen actividades en que es necesario detener la rotación pero que no son fallas o problemas del sistema, pero que son indispensables, por ejemplo: cambios de barrenas y etapas, corte y desliz de cable de perforación, entre otras operaciones previamente

programadas, que se pueden agrupar dentro del plan de mantenimiento del equipo de perforación. La función de mantenimiento juega un papel fundamental en el logro de los objetivos estratégicos de una organización (Fraser, 2014). Todos los equipos rotativos se componen de componentes operativos similares y requieren de numeros ensambles. Estos montajes son muy costosos y tienen muchas piezas pequeñas (Gokhale, 2011).

También, por otro lado, se analizaron tiempos relacionados a fallas muy específicas de equipos y herramientas para poder mapear el proceso. Ver fig. 3. Se puede apreciar que los tiempos de atraso derivan de fallas mecánicas en equipos tanto del sistema rotatorio como del de circulación. Previo al mapeo de las operaciones, estas se pueden analizar con otras herramientas como los diagramas de análisis causa raíz y el de Pareto. En este caso como se observa en la fig. 4, se usa el segundo. El diagrama de Pareto permite comparar de manera cuantitativa y ordenada factores según su participación a un determinado efecto (Tasayco, 2015).

**Figura 3**  
Distribución de TNP por fallas en equipos.

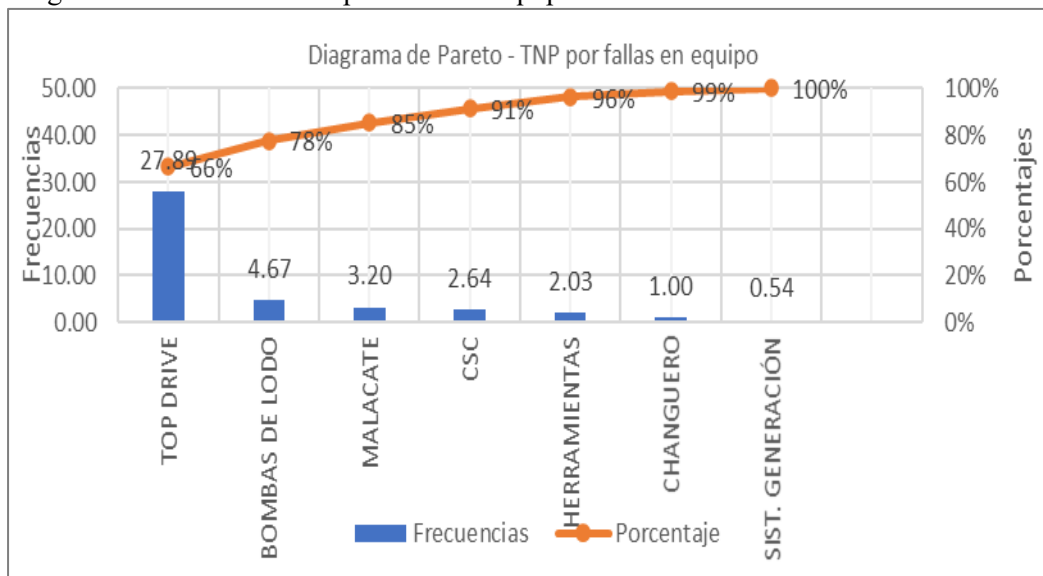


Tomando los datos del mismo caso, se puede apreciar que el elemento que más retrasos representa en las operaciones es el Top Drive junto con las bombas de losos, por lo que se debe realizar un análisis sobre los procesos de instalación, operación y mantenimiento de estos equipo clave para lograr las metas de ROP (Tasas de penetración), así como de un cuidado de la hidráulica utilizada en cada etapa de perforación, ya que esta puede repercutir en el funcionamiento correcto de las bombas de lodo. Para

este trabajo se utilizará el Mapeo de flujo de valor para optimizar los tiempos al usar este equipo, cabe aclarar que, si bien no se trata de un proceso de manufactura como tal, el producto final será el objetivo de la operación: cierta cantidad de metros o pies perforados en un determinado tiempo.

Tomando los datos del mismo caso, se puede apreciar que el elemento que más retrasos representa en las operaciones es el Top Drive junto con las bombas de lodo, por lo que se debe realizar un análisis sobre los procesos de instalación, operación y mantenimiento de estos equipo clave para lograr las metas de ROP (Tasas de penetración), así como de un cuidado de la hidráulica utilizada en cada etapa de perforación, ya que esta puede repercutir en el funcionamiento correcto de las bombas de lodo. Para este trabajo se utilizará el Mapeo de flujo de valor para optimizar los tiempos al usar este equipo, cabe aclarar que, si bien no se trata de un proceso de manufactura como tal, el producto final será el objetivo de la operación: cierta cantidad de metros o pies perforados en un determinado tiempo.

**Figura 4**  
Diagrama de Pareto de TNP por fallas de equipos.



#### Problemas en el sistema existente (Equipos de perforación petrolera)

Se identificaron los siguientes desperdicios en el actual sistema de proceso de perforación de pozos con equipos de perforación convencional:

- Repetición de movimientos.
- Exceso de personal.
- Consumo de más recursos (aditivos y materiales para las diversas operaciones).
- Sobre inventario y en algunos casos desabasto de herramientas.



- Desperdicio de material.
- Tiempos de conexión y viajes de tubería prolongados.

Cada subconjunto del proceso de perforación revisado en el equipo fue evaluado para los 7 tipos de residuos. Taiichi Ohno definió el desperdicio o MUDA como todo lo que es adicional a los equipos, materiales, componentes y personal mínimo imprescindible para la producción. Los 7 tipos de desperdicio, son defectos, espera, inventario, transporte, exceso de movimiento, sobreproducción. y, por último, el procesamiento excesivo, que normalmente inunda la mayoría de las operaciones de perforación en diversos grados. Alguno se reconoce fácilmente a través de datos y observación simple, mientras que algunos son menos aparentes y podrían requieren reconocimiento a través de un experto capacitado en Lean, ver fig. 5.

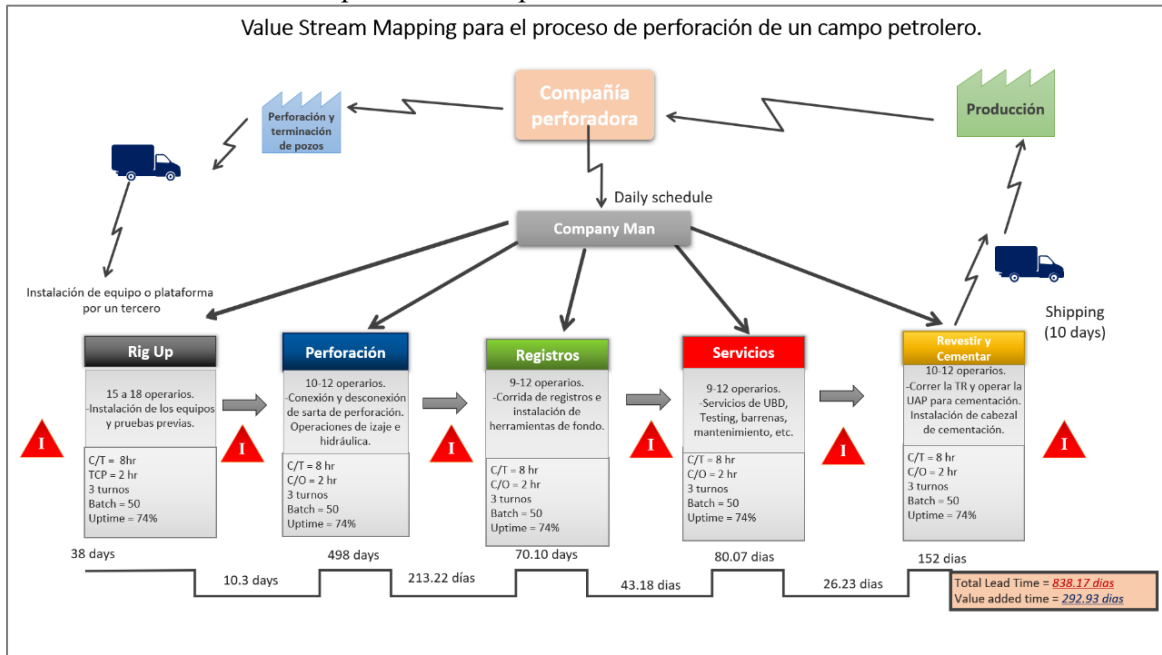
**Figura 5**

Tipos de mudas o residuos en los procesos.



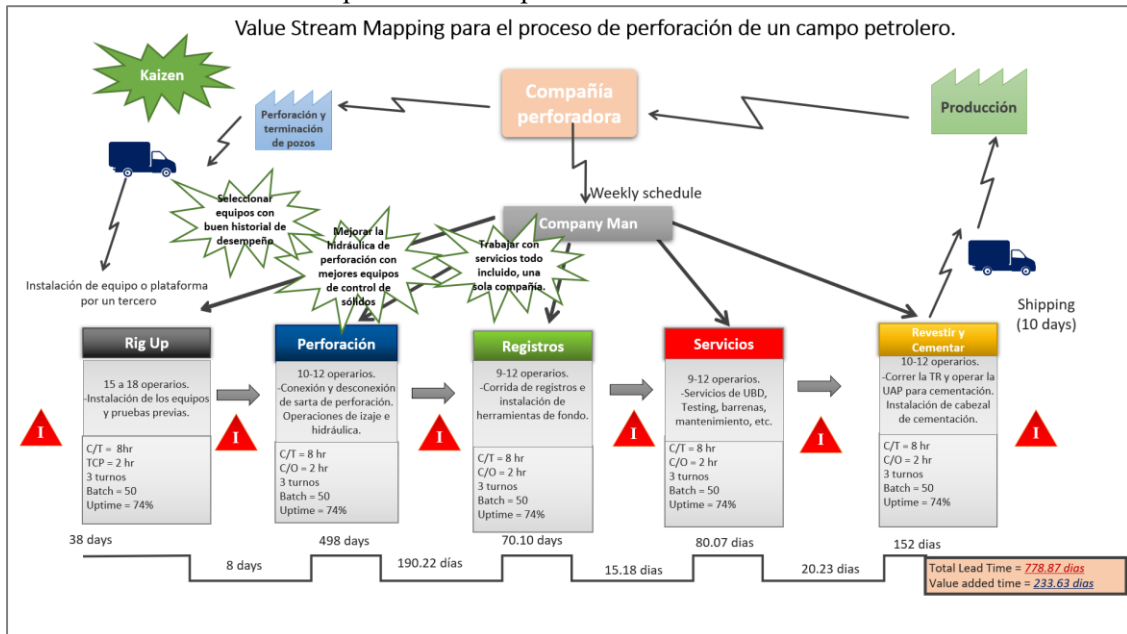
A continuación se procedió a elaborar el mapa de flujo de valor actual, en el que de manera muy condensada se representan las actividades principales para el desarrollo de un campo petrolero, desde la movilización de un equipo y cada una de las etapas descritas como perforación del agujero, registros, servicios, revestimiento y finalmente la cementación, cabe aclarar que este proceso es cíclico y que debe repetirse durante 4 o más etapas dependiendo las características del pozo. Ver fig. 6.

**Figura 6**  
VSM del estado actual de la perforación de pozos.



Posteriormente se identifican los proceso, movimientos y actividades que esten generando NPT significativos, se analizan las causas y se proponen mejoras al proceso mediante Kaizen y se plasman en el nuevo mapa. Ver fig. 7.

**Figura 7**  
VSM del estado futuro de la perforación de pozos.



## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Después de realizar el VSM del proceso general de la perforación de pozos se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Tiempos de espera ocasionados por servicios proporcionados por terceros.
- Se observan muchas fallas en las herramientas direccionales relacionadas con una hidráulica inadecuada. Para ello se propone el uso de mallas más pequeñas para el control de los sólidos de retorno que pudieran estar dañando las herramientas de fondo.
- Uso de aditivos especiales que eviten la pérdida de circulación en los pozos de un campo determinado. Se debe tener una muy buena información geológica del campo a explotar.
- Se recomienda bajar a velocidad moderada la TR en base a simulaciones, para así evitar el pistoneo y minimizar los riesgos de pérdida en zonas permeables
- La intervención de diferentes compañías en una misma actividad ocasiona atrasos considerables.

En particular, en el caso de la herramienta Value Stream Mapping, es posible aplicarla de manera más eficiente a nivel de áreas específicas, tales como las de mantenimiento de los equipos, movilización e instalación de equipos, logística de herramientas y suministros, entre otros procesos. Cuando se intenta agrupar todo el proceso de perforación de un pozo para mapearlo, nos encontramos con que el proceso es cíclico, pero con características muy particulares que ya no están bajo control del operador, tales como las características de la formación, además de que visiblemente perforar un pozo petrolero involucra gran cantidad de elementos que pueden no estar presentes siempre en todos los casos. En resumen, VSM para perforación de pozos debe ser una herramienta más flexible y actualizada que permita involucrar procesos repetitivos, pero con diferentes dificultades.

## **CONCLUSIONES**

En Lean manufacturing puede aplicarse en la industria del petróleo y el gas, para desarrollar exitosamente proyectos, mejorar la eficiencia y reducir costos. Algunas compañías, tanto operadores como proveedores de servicios de equipos de perforación han utilizado con éxito para optimizar sus operaciones, para reducir el tiempo y los costos de perforación del pozo, mientras que los proveedores de servicios las usan para mejorar el proceso de fabricación de equipos y herramientas.

Estas metodologías como el VSM están más acordes con el modelo convencional de manufactura en

fábrica, en comparación con el proceso de construcción del pozo, ya que la producción generalmente ocurre a lo largo de una línea de ensamblaje. Recientemente se ha buscado mejoras de eficiencia en esfuerzo para entregar pozos productores, n menor tiempo y a costos reducidos. Esto ha sido principalmente por necesidad mejorar la inversión y las ganancias, sobre todo cuando baja de precio el barril de petróleo, pero también como resultado de la competencia entre compañías.

Con VSM es posible mapear el proceso de perforación completo, pero lo recomendable sería segmentarlo al nivel que cada uno de los procesos involucrados, dada la naturaleza de la actividad de perforar un pozo, requiere de un anaálisis más minucioso y por tanto de un avanzado conocimiento del área a mapaer.

Algunas de las mejoras que se pueden realizar dependen de una curva de aprendizaje típica asociada con cualquier campo y refinando el proceso operativo estándar, mientras que otros se han logrado mediante la aplicación de iniciativas de mejora, en particular a través del uso del lean y la eliminación de desperdicios durante los procesos

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

American Society for Quality, 2022

Andy Neely, Mike Gregory, and Ken Platts. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4):80–116, 1995. doi: 10.1108/01443579510083622.

Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022) Datos abiertos.

Fraser, K. (2014). Facilities management: The strategic selection of a maintenance system. *Journal of Facilities Management*. Emerald.

Gokhale B.V., 2011. Rotary drilling and blasting in large surface mines. CRC Press.

Gow Sandy, (2005). Roughnecks, Rock Bits and Rigs. Alberta, Canada:University of Calgary Press.

H. Rabia - Well Engineering and Construction-Entrac Consulting 2001.

Heizer, J., & Barry, R., Operation Management Sustainability and Supply Chain Management (11th ed.). McGraw Hil, New York, 2014.

Hernandez, J. C., & Vizán, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnica e implantación.

Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial.

- Hernandez CI, Torres R (2011) KPI drilling database. Drilling process synergy achieved through a systematic & analytic approach. In.
- I. Svensson, et al, 2015, "Driving Rig Performance Real-Time Data Analysis Dashboards and Developed Key Performance Indicators", SPE Paper 176786.
- Joint Association Survey on Drilling Costs: (2003): American Petroleum Institute, Statistics Dept., Washington, D.C., United States of America.
- Kaiser, M., & Pulshiper, A. (2007). Generalized Functional Models for Drilling Cost Estimation. SPE Drilling & Completion, SPE 98401-PA.
- M. C. Taj S., «the impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance,» International Journal of Technology Management, vol. 2, n° 22, pp. 223-240, 2011.
- Moazzeni, A., Nabaei, M., & Azari, A. (2011). Reducing Consumed Energy while Drilling an Oil Well through a Deep. Omidhe Iran: Advanced in Petroelum Exploration and Development.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. L. (2010). Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad. Madrid: Diaz de Santos.
- Rodríguez, C. (2015), Metodología de implementación de Kaizen y 7 desperdicios para Tablemac S.A.- Planta de Yarumia, (Tesis para maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- SHOOK, R. (2010). Learning to see. Washinton D.C: Remus.
- Womack, J. y Jones, D. Lean Thinking. Simón and Schuster, New York, 1996.
- Woodside Petroleum Perth, (2011). Amazon books, Western Australia.