

Análisis de costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019

Cost analysis for an implementation of Six Sigma methodology based on total quality variables (TQM) in the process of oil extraction in Colombia for the year 2019

Juan Camilo García¹

Juan.garcia10@usc.edu.co

Mayra Alejandra Silva Ruiz²

mayra.silva00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Comercial (1)

Resumen

El petróleo ha figurado desde ya bastantes años, en Colombia, como el commodity por excelencia, siendo entonces la base de la economía del país, lo cual ha impulsado a varios investigadores a buscar maneras de hacer el proceso mucho más eficaz y eficiente. Por otra parte, la metodología Six Sigma se ha planteado como una de las herramientas más eficientes al momento de planificar procesos y aminorar tiempos y costos, en efecto el presente documento tiene como objetivo principal: analizar los costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019, para lo cual se precisa con el cumplimiento de tres objetivos específicos, el primero de los cuales implica la especificación de la forma funcional que se debe aplicar para la implementación de la metodología Six Sigma en el proceso de extracción de petróleo, seguidamente se busca establecer las variables de calidad para la implementación Six Sigma en el proceso de extracción de petróleo, y finalmente especificar los costos de la implementación de la metodología definida en los objetivos anteriores, para la realización de este estudio fue necesario la ocupación de la metodología planteada por Al Kindi & Al Lawati (2016) y por Bubshait & Al-Dosary (2014), dada la cual se logró tener como resultados que los principales costos adyacentes al proceso de implementación de la metodología Six Sigma están relacionados con la mano de obra. Concluyendo el proceso de investigación se precisa que la formación de una metodología adecuada depende en buena medida de la capacitación que debe poseer la mano de obra encargada de este proceso.

Palabras Clave: Six Sigma, extracción de petróleo, costos de implementación, DMAIC

Abstract

The oil has been listed for many years, in Colombia, as the quintessential commodity, being then the basis of the country's economy, which has prompted several researchers to look for ways to make the process much more effective and efficient. On the other hand, the Six Sigma methodology has been proposed as one of the most efficient tools when planning processes and reducing times and costs, in fact this document has the main objective: to analyze the costs for an implementation Six Sigma methodology based on total quality variables (TQM) in the oil extraction process in Colombia for the year 2019, for which it is required to meet three specific objectives, the first of which involves the specification of the form functional to be applied for the implementation of the Six Sigma methodology in the oil extraction process, then seeks to establish the quality variables for the Six Sigma implementation in the oil extraction process, and finally specifying the costs of implementing the methodology defined in the previous objectives, for the realization of this study it was necessary to take care of the methodology posed by Al Kindi & Al Lawati (2016) and by Bubshait & Al-Dosary (2014), given which achieved results that the main costs adjacent to the Six Sigma methodology implementation process are labor-related. Concluding the research process, it is necessary that the formation of an appropriate methodology depends to a large extent on the training that the workforce in charge of this process must possess.

Keywords: Six Sigma, oil extraction, costs of implementation, DMAIC

1. INTRODUCCIÓN

El mercado actual ha planteado gran cantidad de retos para las empresas que a diario deben buscar maneras distintas para alcanzar el máximo productivo pero adicional a ello mantenerse en el mercado siendo hito de desarrollo, es gracias a esto que en la actualidad se han desarrollado herramientas y estrategias administrativas que permitan incursionar de una mejor manera en los procesos de calidad, eficacia y eficiencia, esto en la totalidad de sectores productivos (Vásquez, 2008. Pág. 25). Ante esta situación ha aparecido el proceso de mejora Six Sigma como una de las estrategias que mayor resultado da al momento de incursionar en mejoras comprometidas al proceso de la alta dirección, precisamente porque a

partir de ella se produce una trazabilidad que incurre en la eficiencia proceso a proceso, identificándose bajo un esquema de desarrollo por sistemas (Vargas, 2013, pág. 18).

En concordancia con las especificaciones que son requeridas por el mercado, y que provienen de un proceso de competitividad bastante exigente, es preciso afirmar que en la búsqueda de la calidad, existen herramientas lo suficientemente eficientes para evocar un proceso que presente una trazabilidad adecuada, de esta manera es conveniente afirmar que la aplicación de la metodología Six sigma en comparación con la metodología tradicional para exponer los costos de la producción concentra gran cantidad ventajas, no solo por la capacidad que tiene de adaptarse a los entornos, sino que además por la posibilidad de establecer lineamientos claros sobre la formación de los mismos produciendo una disminución de tiempos y dinero que pueden significar una mejora considerable en la totalidad del proceso de producción (Herrera & Franco, 2017, pág. 83), de ahí que se identifique la necesidad de aplicar este tipo de metodología en la totalidad de los procesos productivos, incluyendo entonces la extracción de petróleo.

Antes de continuar es necesario considerar que la extracción o explotación del petróleo se hace de acuerdo con las características propias de cada uno de los yacimientos, para poner un pozo a producir en un primer momento se hace precisa la ocupación de un cañón y se perfora la tubería de revestimiento a la altura de las formaciones donde se encuentra el yacimiento. El petróleo fluye por los orificios hacia el pozo y se extrae mediante una tubería de menor diámetro, conocida como tubería de producción, cuando el pozo no tiene energía es necesario que se genere una presión subterránea, entonces el producto de la extracción sale por sí solo, en este caso se precisa la instalación en la cabeza del pozo un equipo que es llamado comúnmente como árbol de navidad, precisamente por la forma que tiene, el cual está compuesto por un conjunto de válvulas para regular el paso del petróleo, en el caso de que no exista la presión, la cantidad de tiempo que se emplea en la extracción es superior debido a que se debe ocupar otros métodos, el más común de ellos el balancín, el cual, mediante el permanente balanceo acciona una bomba en el fondo del pozo que succiona el petróleo hacia la superficie, en general por tratarse de un bien natural el petróleo viene acompañado de otras sustancias, siendo necesario entonces realizarse una separación y almacenamiento de lo necesario, de ahí que este se envíe a tanques de almacenamiento y a los oleoductos que lo transportan hacia las refinerías, o hacia los puertos de exportación, es preciso establecer que nunca se logra extraer la totalidad del petróleo en el mejor de los casos se extrae solo el 50% o 60%. Dado a que como se identifican son varios los procesos que se incluyen en la extracción es necesario especificar los costos de extracción a través de una metodología que permita especificar de manera concreta los costos, denotando la necesidad de eficiencia y eficacia

Teniendo en cuenta lo anterior, se precisa que existen diferentes investigaciones que según Hernández (2014) identifican las ventajas de la aplicación de la metodología, es necesario considerar que no existe una prueba irrefutable de aplicación, de esta manera en el análisis que realiza Morales (2007) se puede prever que uno de los condicionantes para la aplicación de esta metodología es precisamente los costos, sin que ello muestre de manera clara las consideraciones adyacentes a esta problemática.

De acuerdo con la información anterior se identifica que los costos son uno de los factores, que en mayor medida dirime la posibilidad de aplicación de la metodología Six sigma, esta temática no se presenta de manera clara y tampoco existe un análisis relacionado, lo que evidencia del mismo modo un faltante en el análisis teórico sobre la temática.

Si bien se presentan algunas investigaciones relacionadas con la aplicación de Six sigma, estas presentan dos problemáticas claras, la primera de ellas es que se realiza para entornos económicos y productivos diferentes al colombiano, como es el entorno norteamericano e inclusive europeo, pero además no demuestran de manera clara los costos de la aplicación, desde la revisión documental se evidencia que algunos de los países que han incursionado en la aplicación son Argentina y Chile (Fidalgo, 2016; Barrera, Cambra & Gonzalez, 2016)

El primer estudio que es necesario referir cuando se trata de implementar la metodología Six Sigma al sector petrolero es el artículo que lleva por título “*Aplicación of Lean Six Sigma in Oilfield Opertations*” escrito por Buell, y Turnipseep (2016), propone identificar los principales avances que se pueden lograr a través de la implementación de la metodología Six Sigma en una empresa del Sector petrolero (Chevron Texaco) la aplicación de la metodología no se realiza a la totalidad del sector petrolero y como tal se dedica a analizar las condiciones de una empresa perteneciente al sector comercial

petrolero.

A partir del documento se evidencia que el Six Sigma apoyado con la aplicación de las normas ISO evocan la calidad de los procesos, logra reducir en gran medida la inversión en tiempo y dinero que realizan las empresas, evidenciando una mayor eficacia y eficiencia, otorgándole una mayor importancia a las inversiones que se realizan en el sector y evidenciando como se modifica el comportamiento de las ventas con respecto a estos cambios. Adicionalmente y como parte sustancial de las conclusiones se identifica que la metodología ocasiona mejora en los procesos internos de la empresa, siempre y cuando se acompañe esta metodología con la implementación de normas de calidad.

Seguidamente es necesario traer a colación el documento “Las Seis Sigma en la industria del petróleo y el gas” documento escrito por Fidalgo Suarez (2016) siendo este Miembro de la comisión para la gestión de la calidad y excelencia del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG), en este artículo se considera en primera medida que si bien la implementación de la metodología Six Sigma en el sector puede resultar costoso, se entiende que los beneficios que se pueden adquirir son realmente significativos, dado a que la metodología como tal llega a modificar directamente aquellos procesos que se consideran inestables y mejorarlos hasta que estos alcancen la perfección, adicional a ello denota que la metodología como tal llega a modificar la filosofía del sector, además de que se considera un conjunto de herramientas que cuenta con una metodología particular que llena de rigurosidad los procesos.

En el ámbito nacional es necesario tener en cuenta para el presente documento de investigación el documento de Álvarez y Serrano (2009) titulado “Diseño e implementación de un sistema de control estadístico en procesos en la empresa Forcol LTDA” el documento contiene el análisis de la empresa nombrada y la aplicación de la metodología seis sigma a la misma, se denota que Forcol LTDA se encuentra anexa al sector petrolero de manera indirecta debido a que se reconoce como la distribuidora de insumos para este sector, en ese sentido en primera medida se hizo necesario a partir de una metodología cuantitativa especificar las variables críticas que afectan el proceso de producción, entendiendo que estas serán las que en su mayoría se vean afectadas al momento de implementación de la metodología Six Sigma, también se denota a partir de este proyecto practico la necesidad de promover un cambio comportamental en las personas que son las encargadas del proceso productivo, siendo estas personas la base fundamental de los cambios propuestos, concluyentemente se evidencia que la metodología ofrece una mejora en la totalidad de procesos y por esta razón debe tenerse en cuenta para posibles cambios a futuro.

Así mismo es necesario traer a colación el documento escrito por Barrera, Chandra y Gonzales (2017) titulado “implementación de la metodología Seis Sigma en la gestión de mediciones” realizado para la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos, y cuyo objetivo principal es diseñar un procedimiento de perfeccionamiento de la gestión de mediciones en el proceso de Hidrofilacio del Diésel mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma. Este trabajo investigativo que se lleva a cabo a partir de una metodología experimental, denota que el análisis principal que se debe llevar a cabo, evoca principalmente la especificación de problemas que subsisten de manera tácita a los procesos que mayor respetabilidad y reproductividad tienen, con los primeros resultados se plantean de antemano acciones correctivas que hacen que se mejore el sistema de medición, del mismo modo se proponen acciones que están encaminadas a enfrentar las deficiencias detectadas durante el estudio, con ello se generan procesos de calidad que dotan de un reconocimiento a la empresa.

“Estado del arte sobre la implementación de la metodología Six Sigma en los procesos de la cadena de suministros de hidrocarburos” es un documento escrito por Herrera & Franco (2017) el cual tiene como objetivo principal hacer una revisión bibliográfica de casos en empresas pertenecientes al sector industrial de los hidrocarburos, para identificar cómo se implementó en ellos la metodología Six Sigma en los diferentes procesos de la cadena de suministros. Para ello es necesario ocupar una metodología que comprende la revisión documental como principal herramienta, en las conclusiones del documento se identifica que como tal existen pocos casos en donde se halla aplicada la metodología al sector de los hidrocarburos, sin embargo, en las empresas en las que ha sido aplicada se denota una mejora y una alineación en la formulación de la cadena de suministros, precisamente porque la metodología como tal tiene un enfoque que va a favorecer a los clientes ya sean estos internos o externos, en la misma medida no se denotan problemáticas con respecto a la aplicación de este tipo de metodología, pero si se hace necesario contar con la cantidad apropiada de

recursos, llámense estos, dinero, personal o tiempo.

Finalmente es necesario traer a colación el documento definido como “Propuesta de mejoramiento de procesos de reacondicionamiento de pozos en un campo del oriente ecuatoriano aplicando la metodología Seis Sigma” Ruiz (2017) este tiene como objetivo principal analizar el proceso de reacondicionamiento de pozos en la empresa estatal Petroamazonas EP en el campo CBS, con el fin de definir una propuesta de mejoramiento continuo a partir de la metodología Seis Sigma. En este documento se analiza cada uno de los procesos y subprocesos que hacen parte de la extracción de petróleo, con la intención de originar en cada uno de ellos modificaciones que establezcan un reacondicionamiento en donde se recupere e incremente la productividad del pozo, para ello se determina en primera medida las operaciones que pueden ser modificadas, estableciendo como parámetros el tiempo y la cantidad de subprocesos en cada uno de los procesos, con análisis de Pareto se logra especificar que son cuatro las actividades que deben ser sometida a modificación: iniciación, disparos, complementación y finalización, con estas actividades identificadas se determina un plan de implementación y un cronograma de ejecución en un periodo de tiempo de un año.

Inicialmente es necesario denotar que la metodología Seis Sigma fue creada por la empresa Motorola, pero que ha trascendido las barreras de la empresa creadora, considerándose entonces una filosofía administrativa con una divulgación mundial, que modifica consecuentemente la filosofía original adaptándola a muchos sectores, de esta metodología se puede afirmar que es un parámetro cuya base principal es la ocupación de la desviación estándar y cuyo enfoque es la reducción de la variación o defectos en los procesos internos de la organización, el nombre como tal se obedece a la necesidad de especificar que una variación tan pequeña como es el Seis Sigma puede generar salida que se encuentra a una distancia de seis grupos por encima o debajo del promedio de un parámetro (Panda, 2004, pág. 59).

Se puede comprender en la misma medida que el Six Sigma es un sistema estructurado de herramientas y técnicas de gestión que busca mejorar la calidad total aplicada a los procesos, productos y servicios, en si enfoca sus esfuerzos en determinar las causas de los problemas, los analiza y denota la razón por la cual producen esos defectos, e inclusive expresa las medidas que se hacen necesarias para abordar esas causas, y por qué se produce la variabilidad de los procesos, de hecho de denota que como tal se le atribuye la medida de sigma apreciando la necesidad de normalizar los procesos, entendiendo esta situación desde una conceptualización estadística, entendiendo que las mediciones que están siendo normalizadas de manera general cuentan con una probabilidad de errores que es mínima (Gonzales, 2006).

Entre las herramientas que son ocupadas por el Seis Sigma en una organización en la actualidad se hace necesario establecer una medida de desempeño definida como Defecto por Millón de Oportunidades que es básica para establecer un referente de comparación en cuanto a calidad y defectos de empresas que pertenecen a un mismo sector. Dado este motivo las empresas que implementan la filosofía están buscando que los procesos se diseñen y mejore en su forma funcional en un 99.99% de aceptación o a un nivel de 3.4 defectos por millón de oportunidades, lo que evidentemente garantizara la satisfacción de las necesidades de los clientes y la reducción de los costos de operación (Gómez, 2009)

Pand & Holpp (2002) denotan que el Six Sigma es una forma realmente inteligente y planificada por medio de la cual se puede dirigir un negocio o proceso buscando el cumplimiento de tres objetivos: mejorar la satisfacción del cliente, reducir el tiempo del ciclo y reducir los defectos, es de esta manera que se obtiene una disminución en los costos, y también se presenta la oportunidad de retener a los clientes, capturar nuevos mercados, y desarrollar un enfoque de empresa que se catalogue como mundial.

Para la realización del presente artículo se ha propuesto desarrollar el objetivo general, analizar los costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019, el cual cuenta además con tres objetivos específicos, el primero de ellos definido como: especificar la forma funcional que se debe aplicar para la implementación de la metodología Six Sigma en el proceso de extracción de petróleo, seguidamente establecer las variables de calidad para la implementación Six Sigma en el proceso de extracción de petróleo, y finalmente especificar los costos de la implementación de la metodología definida en los objetivos anteriores. Para el desarrollo de los objetivos anteriormente mencionados se desarrolla el documento en cinco secciones con la siguiente estructura metodológica, resultados y discusión, conclusiones y referencias.

1. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló a través de tres fases procedimentales tomando como referencia los métodos ocupados por Al Kindi & Al Lawati (2016) y por Bubshait & Al-Dosary (2014), cada una se describe con sus características a continuación:

1.1 Fases

FASE 1: Revisión documental y recolección de información.

En esta primera fase se especificó como se realiza la extracción de petróleo, este proceso se realizó a partir de la revisión documental, según Sandoval (1996) esta herramienta es propia de la investigación cualitativa y permite hacer un recuento de la información ofrecida por fuentes de información secundaria, estas fuentes para el presente proyecto fueron paginas oficiales de las empresas extractoras de petróleo, búsqueda general en internet y documentos científicos en las bases de datos bibliográficas, con ello se escribió la totalidad del proceso con la totalidad de sus partes.

FASE 2: Definición de variables.

En esta segunda etapa se definió las variables de entrada y salida del proceso de extracción petróleo, para ello se utilizó la metodología de Total Quality Manager (Gestión de Calidad Total) que es un término acogido por el Comando de sistemas Aéreos Navales de la Marian de los Estados Unidos para adaptar el estilo de gerenciamiento japonés, el cual cuenta con varias definiciones que apuntan a mejorar la competitividad.

Según Carro & Gonzales (2016) el sistema TQM requiere de varias herramientas que están asociadas a una manera de gestión originalmente exitosa, como es tomado el modelo japonés, adicional a ello la metodología permite que se aniden conceptos sobre el control de la calidad estadística, además se comprende que el modelo no está limitado tan solo al área de producción o de operaciones de la organización como se pensaba con anteriores modelos de desarrollo de negocio, sino que está puesto en marcha para la totalidad de la organización.

Este tipo de modelo le permitió al presente proyecto de investigación establecer las características de las variables que evocan calidad en el proceso de extracción de petróleo.

Se procedió a determinar el Diagrama SIPOC el cual por sus siglas en ingles significa Supliera-Inputs-Procesos-Outputs-Consumer, esta es la representación gráfica de un proceso de gestión, y se considera una herramienta para visualizar el proceso de manera sencilla identificando cada una de las partes que componen el mismo (Chinchilla, 2009).

De la misma manera es preciso estimar como forma procedimental el proceso DMAIC:

- Definir. Definir el problema o seleccionar el proyecto, describiendo el efecto provoco por una situación adversa, o el proyecto de mejora que se desea realizar, con la finalidad de poder entender la situación de partida y definir los objetivos. En esta fase se configuró el equipo de trabajo, el cual deberá ser de tipo multidisciplinar.
- Medir. Definir y describir el proceso, determinando sus elementos, sus fases, entradas, salidas y características. Evaluar los sistemas de medición, analizando su capacidad y estabilidad mediante estudios de repetibilidad, reproductibilidad, linealidad, exactitud y estabilidad.
- Analizar. Determinar las variables significativas. Las variables del proceso definidas en la fase “Medir”, deben ser confirmadas por medio de Diseño de Experimentos y/o estudios multivariable, para medir la contribución de estos factores en la variabilidad del proceso. Las pruebas de hipótesis e intervalos de confianza también fueron aplicadas en esta fase.
- Evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso. Determinar la habilidad de proceso para producir productos dentro de las especificaciones, mediante estudios de capacidad a corto y largo plazo, a la vez que se evalúan

las fracciones defectuosas.

- Mejorar. Optimizar y robustecer el proceso. Si el proceso no es capaz, se tuvo que optimizar para reducir su variación. En esta fase se utilizaron herramientas de calidad como son el diseño de experimentos, análisis de regresión y las superficies de respuesta. Validar la mejora. Realizar estudios de capacidad confirmatorios.
- Controlar. Controlar y efectuar un seguimiento del proceso, manteniéndolo bajo control estadístico. Mejorar continuamente. Una vez que el proceso es capaz, se deberán buscar mejores condiciones de operación, materiales, procedimientos, etc., que nos conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

Los resultados presupuestados en las fases definidas con anticipación fueron fundamentales para establecer los resultados de los objetivos propuestos en la presente investigación, se estima en efecto que la determinación de costos se realiza teniendo en cuenta los aspectos legales de la asignación salarial, la ocupación de los materiales físicos, la especificación de instrumentos y servicios, esta actividad se realiza a partir de cotizaciones en el mercado actual.

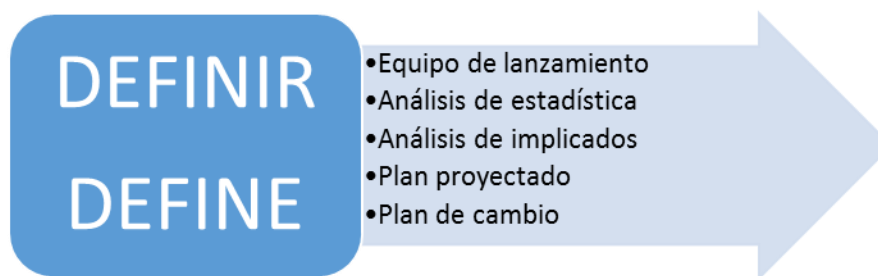
FASE 3: Recopilación de información para resultados.

En esta fase se estructuran los principales resultados obtenidos del proceso de DMAIC, en efecto en esta se demostró cuáles eran los principales costos y la relevancia que tiene cada uno de estos en el proceso de extracción de petróleo. Para esta fase resulto fundamental la implementación del proceso de metrología.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Identificación de la forma funcional que se debe aplicar para la implementación de la metodología six sigma en el proceso de extracción de petróleo

Se ocupa la metodología DMAIC que tiene cinco fases y se aplica para solucionar el problema de la siguiente forma: En la Fase Definición el flujo de trabajo realizado por el equipo se concentra en definir la línea de tiempo para el proyecto (movilización) incluyendo el plan de recursos, definición de problemas, objetivos y oportunidades. Así mismo, se aplica la herramienta SIPOC (Proveedores, Entradas, Procesos, Productos y Clientes) para examinar las variables principales de la operación como negocio. Proveedores: para este caso particular la empresa contratista que realiza la perforación. Insumos: Capital invertido para las operaciones de rip down/ rig up de los taladros. Proceso: Tiempo de operaciones de los equipos desde su liberación hasta su 17 (J.P, C.C., & Simmons, 2016). 40 aceptación. Productos: Retorno de inversión, en caso de pozos de petróleo, barriles de crudo producido. Clientes: Aunque para este caso las operaciones son realizadas por un contratista, son supervisadas y facilitadas por la empresa dueña del activo, que lo convierte en su mismo cliente. Ilustración 1. Fase definición

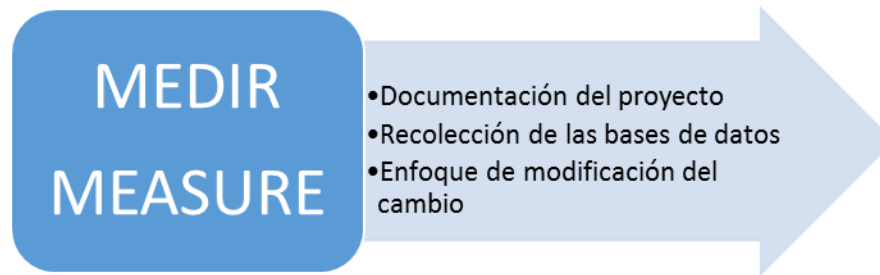


Fuente: elaboración propia.

En la fase **Medición** se utiliza como medida de la tasa de error el DPMO (defectos por millón de oportunidades). La fase Analizar es el método central para identificar, evaluar y seleccionar las causas raíz de las ineficiencias que requieren la eliminación apropiada. En la fase de Mejora se estableció un nuevo mapa de proceso eliminando o disminuyendo los efectos de las fallas ocasionadas por las causas identificadas. Finalmente, en la fase Control se implementaron los cambios de la fase mejora mediante documentación empresarial, monitoreo y formulación de recomendaciones para seguir

tomando acciones que permitan la optimización continua del proyecto.

Ilustración 2. Fase medición

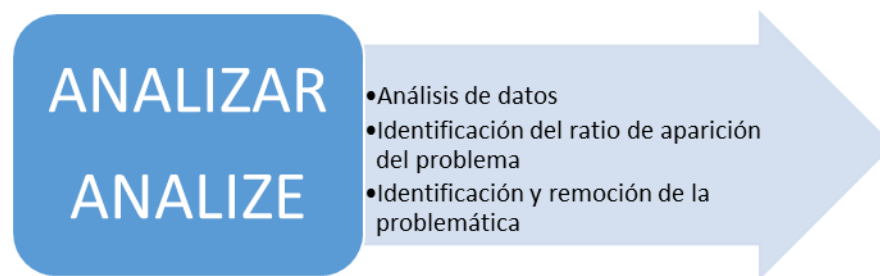


Fuente: elaboración propia.

Como consecuencia de este enfoque DMAIC, en Lean Six Sigma, se pueden producir cambios desde la propia organización y el sector, finalmente la última metodología que se analizara y que será funcional para la aplicación de la metodología six sigma en el área de petróleo es aquella que se aplica mediante la herramienta SIPOC (Fursule, S., & Bansod S., 2012). Esta herramienta es útil para identificar la variable principal en el proceso de extracción. Descrito de la siguiente forma: Los proveedores: una lista de todos los proveedores internos y externos de la empresa. Los insumos: el capital invertido por la empresa asociado a las plataformas, datos, aplicaciones, partes y materia prima. Proceso: Adquisición, movimiento y almacenamiento de materias primas, inventario de trabajo en proceso y productos terminados desde el punto de origen hasta el punto de consumo. El resultado: el retorno de la inversión para la empresa, resolver el problema de la logística, el equilibrio entre el movimiento y el almacenamiento de accesorios, la visibilidad y el control del inventario, la eficiencia y la precisión de las solicitudes y adquisiciones, reducción de los plazos de entrega. Los clientes: vendedores, proveedores, subcontratistas, socios logísticos.

Seguidamente y contando con los datos precisos para la consolidación del proceso se presenta también la fase Analizar, en la cual se comprende la necesidad de analizar los datos encontrados en la fase inmediatamente anterior, posterior a ello se reconoce como necesario identificar el ratio de las aparición de causas del conflicto, con ello se identifica como necesario establecer procesos estadísticos en donde a través de regresiones simples se encuentre el sigma problemático, desde esta concepción es preciso afirmar como necesario identificar y remover el error del proceso productivo, en este caso haciendo referencia al proceso de extracción de petróleo.

Ilustración 3. Fase analizar



Fuente: elaboración propia.

En la fase de definición, se presentan el cronograma del proyecto, la carta, la declaración, los objetivos y las oportunidades financieras estaban bien definidos. El equipo se forma y se realizaron entrevistas con el director de producción revelando un cambio en el proceso anterior de gestión del proceso de extracción, analizando consecuentemente los costos. En este proceso, el cálculo de costos se retrasa hasta que se terminen los bienes.

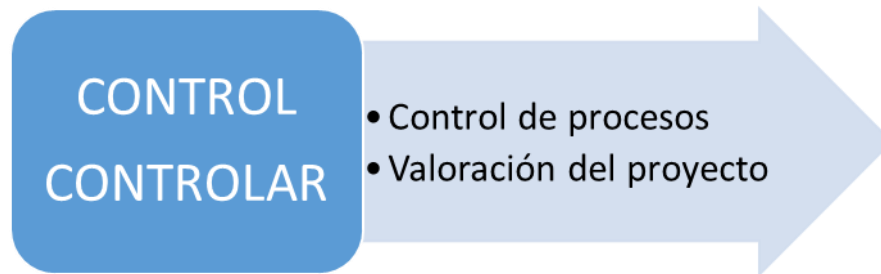
La fase de Mejora ha dado lugar a una mayor visibilidad y control del inventario, requisiciones de alta eficiencia y precisión, así como, recuento de unidades regularmente e incluido como proceso en el sistema de planificación de necesidades de material. El programa de Gestión de Relaciones con Proveedores llevara a los proveedores a mejorar su

desempeño de entrega a tiempo y servicio al cliente, así como aumentar las comunicaciones con la Compañía. La fase Control se basa en garantizar que las gestiones realizadas para asegurar los inventarios se preserven en el tiempo y que el proceso de mejora sea continuo. En esto caso particular la metodología Lean Six sigma se aplicará con éxito en la cadena de extracción productiva de petróleo.

La última fase a la que hace alusión la metodología Six Sigma es la de **Controlar** en esta se busca la mejora del desempeño del sistema que necesita asegurar en buena medida la solución que además de todo sea sostenible con el tiempo, para ello es fundamental que se implemente un estrategia completa que determine el control, considerando la eficiencia y eficacia del propósito, para ello será necesario realizar un control estadístico mediante gráficos comparativos y diagramas de control y técnicas no estadísticas tales como la estandarización de los procesos, controles visuales, planes de contingencia y mantenimiento preventivo, así como las herramientas de planificación y control.

Claramente se halla necesario establecer el proceso de valoración del proyecto y el control de los procesos.

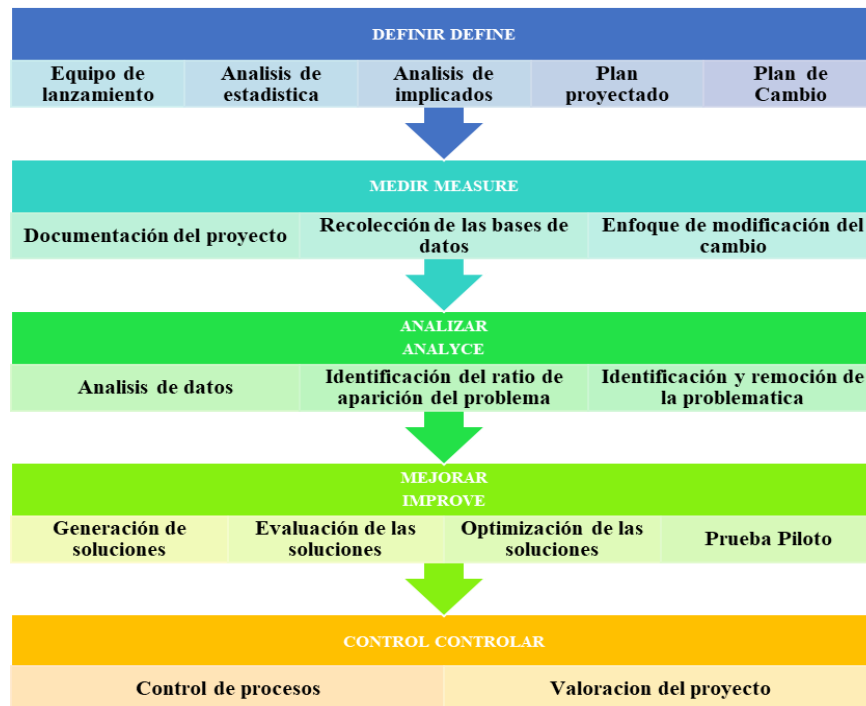
Ilustración 4. Fase controlar



Fuente: elaboración propia.

Dados estos cinco procesos se encuentra que la metodología Six sigma ocupara el siguiente esquema:

Ilustración 5. Metodología Six sigma



Fuente: elaboración propia con base en Simmons (2016)

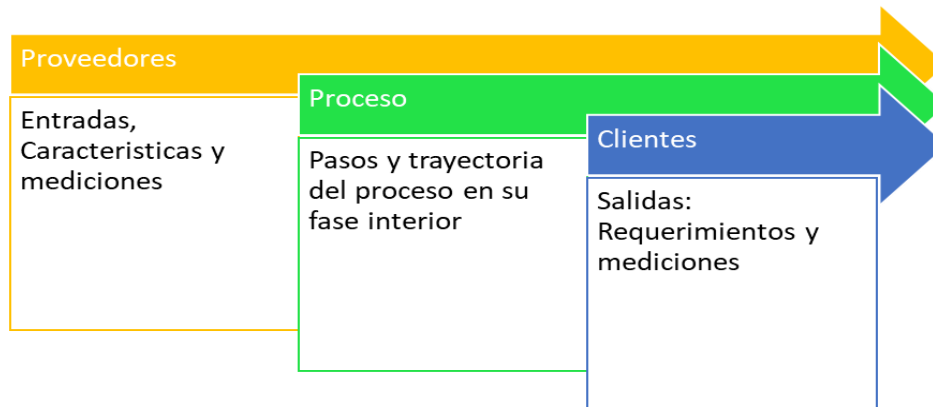
2.2. Determinación de las variables de calidad para la implementación Six Sigma en el proceso de extracción de petróleo.

Para realizar la presentación del proceso de extracción de petróleo es necesario recurrir a la figura básica sobre los procesos en general, así pues, esta se reconoce como el diagrama SIPOC dadas sus siglas en inglés, así pues, esta se comprende de las siguientes siglas:

- Suppliers (Proveedores)
- Inputs (Entradas)
- Process (Procesos)
- Outputs (Salidas)
- Customers (Clientes)

De manera gráfica se puede comprender de la siguiente manera:

Ilustración 6. Diagrama SIPOC



Fuente: elaboración propia con base en Fursule, S., & Bansod S. (2012)

Eventualmente es preciso establecer que este proceso toma una vista funcional del proceso que se puede representar de manera matemática de la siguiente manera:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \text{ donde}$$

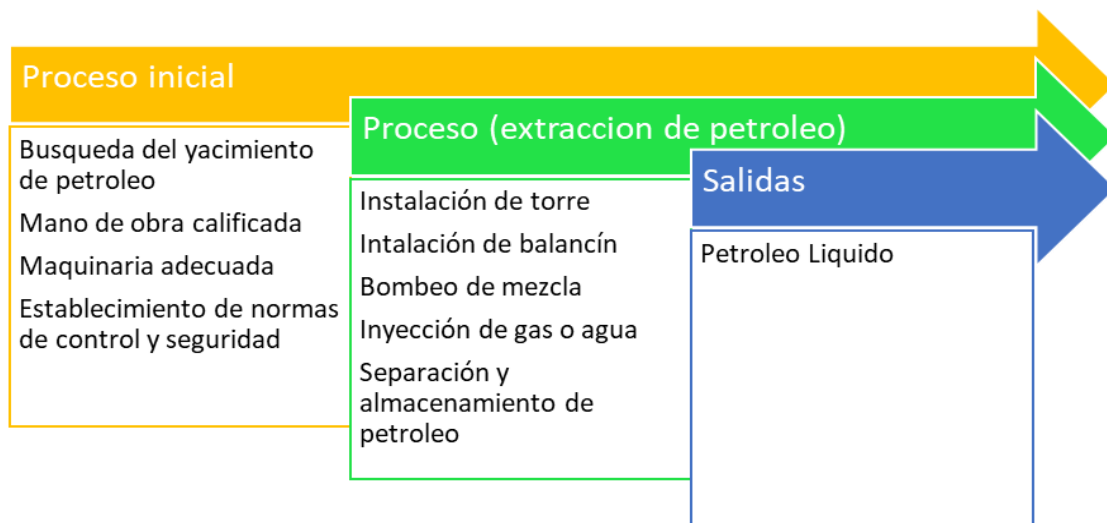
y= salidas, efectos o síntomas del proceso

x= entradas, causas o problemas de un proceso.

Se puede decir entonces que la salida (y) es una función de las entradas (x) las que representan a su vez las variables del proceso cuya interacción mediante las diferentes actividades internas determinan la salida en sí misma, ahora bien, es posible argumentar que todo este proceso tiene un tiempo, el cual debe especificarse, compararse y definirse entendiéndose que la variable tiempo es una variable adyacente que requiere de una medición.

En cuanto a la aplicación del SIPOC al interior del proceso de extracción de petróleo se requiere realizar un cuadro similar al anterior, así pues:

Ilustración 7. Proceso para aplicación del SIPOC



Fuente: elaboración propia con base en Fursule, S., & Bansod S. (2012)

Para el presente proyecto no se establece una relación con cliente, debido a que se trata de una comodita que tiene una transacción diferenciadas en el mercado, solo se limita al proceso de extracción de petróleo, dadas las condiciones anteriores es necesario poner en manifiesto la ecuación matemática que resulta del proceso de extracción de petróleo, así pues:

$$y (\text{Petróleo Líquido}) = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9), \text{ donde}$$

y= petróleo líquido en grandes cantidades, listo para ser vendido

Para las variables x se tiene en cuenta las siguientes variables de entrada y de proceso:

Variables de entrada

X₁= Yacimiento de petróleo

X₂= Mano de obra calificada

X₃= Maquinaria adecuada

X₄= Establecimiento de normas de control y seguridad

Variables de Estado

X₅= Instalación de torre

X₆= Instalación de balancín

X₇= Bombeo de mezcla

X₈= Inyección de gas o agua

X₉= Separación y almacenamiento de petróleo

2.3. Caracterización de las variables del proceso: Teniendo en cuenta las condiciones anteriores a continuación se describe cada una de las variables que determinan el producto esperado

X₁= Yacimiento de petróleo: Esta es una de las variables más importantes y más preponderantes que tiene el proceso de extracción, como tal se evidencia que el encontrar un yacimiento de petróleo puede tardar más de seis meses, y debe contar con especificaciones claras, específicamente no puede estar ubicado en una reserva forestal o en un lugar que no haya sido definido legalmente como sitio de explotación.

X₂= Mano de obra calificada: El proceso de extracción de petróleo debe reconocer la innovación y la mano de obra calificada en el proceso de extracción, precisamente porque las nuevas propuestas son las que demuestran la posibilidad de disminuir los costos de producción que en algún momento resultan ser tan elevados.

Se considera que la mano de obra calificada comprende tanto ingenieros de petróleo como supervisores y operarios necesarios para la puesta en marcha del proceso.

X₃= Maquinaria adecuada: Los principales elementos que conforman un equipo de perforación, y sus funciones, son los siguientes:

- Torre de Perforación o Taladro
- Tubería o "Sarta" de Perforación
- Brocas
- Malacate
- Sistema de Lodos
- Sistema de Cementación
- Motores

X₄= Establecimiento de normas de control y seguridad: Para el presente caso se tiene en cuenta que la norma que aplica es la NTC 250, la cual evidencia procesos y procedimientos para que se mantenga el control y la seguridad en cualquier extracción de petróleo

X₅= Instalación de torre

Las torres de perforación se utilizan para realizar perforaciones de entre 800 y 6000 metros de profundidad en el subsuelo, cuando las perforaciones se realizan en el mar estas torres están montadas sobre barcasas con patas o buques con control activo de su posición respecto del fondo del mar y se denominan plataformas petrolíferas.

X₆= Instalación de balancín: este instrumento es esencial debido a que mediante un permanente balanceo, acciona una bomba en el fondo del pozo que succiona el petróleo hacia la superficie.

X₇= Bombeo de mezcla: Al igual que la variable anterior esta se hace necesaria para promover la succión del petróleo

X₈= Inyección de gas o agua: Existen los siguientes métodos de levantamiento artificial:

1. gas listo – cuando se introduce gas comprimido en la columna de producción;
2. bombeo centrífugo sumergido - aplicado en pozos con fluidos de alta viscosidad y pozos con altas temperaturas;
3. bomba mecánica con hasta - el movimiento de rotación de un motor se transmite para el fondo del pozo a través de las varillas de la columna, activando la bomba que eleva los fluidos producidos hasta la superficie.
4. bombeo por cavidades progresivas - se usa principalmente para la producción de líquidos con viscosidad alta o baja y pozos poco profundo

X₉= Separación y almacenamiento de petróleo: el fluido una vez impulsado choca con los deflectores en la entrada del separador que alteran la dirección del fluido.

Es preciso reconocer para la construcción de una comparación que el encontrar un yacimiento de petróleo sin contar con la metodología six sigma tardaría en aproximado cuatro meses, en los cuales se trabajaría 30 días, ocho horas por día, de acuerdo con el horario de trabajo estipulado por Ecopetrol, una vez se comienza a aplicar la metodología existe una

reducción del 33%, ocupando solo cuatro meses, eventualmente aquí se encuentra la primera disminución de tiempo, consecuentemente en la explotación del yacimiento como tal la mano de obra también se ve aminorada debido a la condición anterior, así pues ya no se requeriría de dos meses, sino de 1.2 meses el cual es el tiempo óptimo definido por Ecopetrol, de acuerdo con la organización en general el 0.8 mes adicional resulta de las tardanzas por una mala gestión en el punto de explotación, posteriormente las horas de maquinaria y el desgaste de la mismas también se ve aminorado, regularmente la maquinaria también se requeriría por dos meses, por pozo, no obstante con la aplicación de Lean Six sigma esta se disminuye consecuente al óptimo que es de 1.2 meses. En cuestión de normativizar el proceso también ocurre una disminución de 110 a 65 horas, toda vez que se plantea el control de las variables desde el primer momento de la ejecución del proyecto hasta el plazo final del mismo. Se precisa que el resto de las variables que alcanzan a ser de control también se ven aminoradas, optando por el óptimo posible, lo cual es posible con la especificación dada por la metodología Six Sigma.

A continuación, se presenta la medición de cada uno de los tiempos antes y después de la aplicación de la metodología Six Sigma:

Variable	Nombre Variable	Antes DMAIC	Después DMAIC	Comparativo
X1	Encuentro de Yacimiento de Petróleo	1440	960	-480
X2	Mano de obra calificada (horas de personal)	8448	5990,4	-2457,6
X3	Maquinaria (horas maquina)	384	288	-96
X4	Establecimiento de normas de control y seguridad	110	65	-45
X5	Instalación de torre	120	80	-40
X6	Instalación de balancín	96	32	-64
X7	Bombeo de la mezcla	176	144	-32
X8	Inyección de Gas o agua	144	80	-64
X9	Separación y almacenamiento de petróleo	120	72	-48
Total tiempo disminuido				-3326,6

***** Cálculos realizados con base en los informes de Ecopetrol**

En la fase de medición se encuentra una reducción final de 3326 horas de trabajo total en la extracción de petróleo, lo cual demuestra una ventaja en cuanto eficiencia y eficacia en el proceso.

2.4. Especificación de costos de la implementación de la metodología Six Sigma.

Dados los preceptos definidos con anticipación, los principales costos y el enfoque que toman los rubros que se definen a continuación están relacionados con el entrenamiento al personal y el costo de los salarios, los cuales debe asumir una empresa dedicada a la extracción de petróleo en la aplicación de la metodología Six Sigma, están relacionadas con la contratación del personal apto para la puesta en marcha del proceso, de ahí que el principal costo sea la mano de obra, así pues, es necesario reconocer que la aplicación de esta metodología es específica de ciertas líneas del conocimiento, entonces, para realizar la implantación del Seis Sigma desde el seno de una empresa lo primero que hay que tener en cuenta es la designación de los equipos que vayan a llevar a cabo la implementación dentro de la organización.

Es muy importante que estos equipos no formen parte del proceso de extracción de petróleo si no que se debe tratar de un equipo de apoyo que facilite el rediseño y ayude a efectuar los cambios que sean necesarios. Por consiguiente, se definen a continuación los costos aproximados de tres meses de mano de obra para un líder del equipo y tres ayudantes, por pozo de extracción de petróleo, para la determinación de los costos salariales se tendrá en cuenta el ámbito legal nacional de contratación de colaboradores, identificado en un primer momento los niveles educativos que tienen cada uno de los adscritos en el procedimiento, se aclara de antemano que esta cantidad de mano de obra se precisa para cada una de las torres de extracción, debido a ello en el momento en el que se presenten más pozos debe contratarse una

mayor cantidad de personal.

La escogencia del personal que se ocupa y se describe en el siguiente proceso se presenta debido a la necesidad de este mismo en cada uno de los procesos que se encuentran en la extracción de petróleo, quienes a su vez serán los encargados de disminuir el tiempo en cada uno de los procesos optando por la optimización del mismo desde la eficiencia y eficacia, en este sentido todos los procesos de extracción cuentan con el proceso de perforación de pozos, para este caso se precisa la presencia de un técnico profesional, seguidamente es preciso que otra persona con el mismo nivel educativo se dedique de manera permanente a la revisión de las maquinas inmersas en el proceso, este acompañara el proceso de metrología, eventualmente se requiere una persona adicional que se encargue del almacenamiento del petróleo, y finalmente se precisa la ayuda de un técnico para la revisión del proceso de transporte y contabilidad de cargas, eventualmente los dos colaboradores estarán dispuestos a prestar su atención a los procesos que en orden de inmediatez resultan más relevantes, en este caso se precisa un colaborador permanente para el proceso de perforación, y otro que este rotándose entre las áreas toda vez que existen falencias en el trabajo humano y es preciso contar con la posibilidad de ocupar una persona como mano de obra adicional, consecuentemente la coordinación del proceso total estará a cargo del experto en Lean Six Sigma.

Tabla 1 Salario Experto aplicación LEAN Six Sigma

	CONCEPTO	%	COP \$
	Salario Mínimo Legal 2018	100,00%	\$ 3.500.000
+	Prestaciones sociales	100,00%	\$ 823.911
+	Subsidio Familiar 3% ICBF, 4% COMFAMILIAR, 2% SENA	9,00%	\$ 315.000
=	Costo Total Mensual (Salario + Seguridad Social)		\$ 4.638.911
x12=	Costo Total Anual (Salario + Seguridad Social)		\$ 55.666.932
+	Total Anual Prima de servicios (1/2 salario incluido subsidio de transporte x cada semestre)		\$ 3.588.211
+	Total Anual Cesantías (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 3.674.406
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles, no incluye aún. de transporte)	50,00%	\$ 1.750.000
=	Total Anual		\$ 64.679.549

Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por el ministerio de trabajo y la caja de compensación familiar Comfacauca.

En la tabla anterior se puede identificar que el salario del experto es uno de los rubros más relevantes a nivel de salarios, se comprende de esta manera que el salario está siendo calculado a partir de las necesidades legales que se tiene en el país, enmarcando este proceso en la contratación del experto precisamente por la necesidad de tener en todo momento la colaboración de este mismo. Seguidamente se estima el costo de la contratación de un técnico industrial que ayuda a la implementación de la metodología.

Tabla 2 Salario Técnico industrial

	CONCEPTO	%	COP \$
	Salario Mínimo Legal 2018	100,00%	\$ 1.600.000
+	Prestaciones sociales	12,00%	\$ 336.320
+	Subsidio Familiar 3% ICBF, 4% COMFAMILIAR, 2% SENA	9,00%	\$ 144.000
=	Costo Total Mensual (Salario + Seguridad Social)		\$ 2.168.531
x12=	Costo Total Anual (Salario + Seguridad Social)		\$ 26.022.372
+	Total Anual Prima de servicios (1/2 salario incluido subsidio de transporte x		\$ 1.688.211

	cada semestre)		
+	Total Anual Cesantías (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.774.406
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles, no incluye aún. de transporte)	50,00%	\$ 800.000
=	Total Anual		\$ 30.284.989

Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por el ministerio de trabajo y la caja de compensación familiar Comfacaucá.

En la contratación de resultados es preciso mencionar que el costo de contratación de los técnicos industriales permite denotar que este es uno de los costos más relevantes, no obstante, el costo del experto termina siendo mucho más relevante, precisamente por el nivel de capacitación, seguidamente se tiene en cuenta el salario de colaboradores.

Tabla 3 Salario Colaboradores

	CONCEPTO	%	COP \$
	Salario Mínimo Legal 2018	100,00%	\$ 1.000.000
+	Prestaciones	12,00%	\$ 210.200
+	Subsidio Familiar 3% ICBF, 4% COMFAMILIAR, 2% SENA	9,00%	\$ 90.000
=	Costo Total Mensual (Salario + Seguridad Social)		\$ 1.388.411
x12=	Costo Total Anual (Salario + Seguridad Social)		\$ 16.660.932
+	Total Anual Prima de servicios (1/2 salario incluido subsidio de transporte x cada semestre)		\$ 1.088.211
+	Total Anual Cesantías (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.174.406
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles, no incluye aún. de transporte)	50,00%	\$ 500.000
=	Total Anual		\$ 19.423.549

Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por el ministerio de trabajo y la caja de compensación familiar Comfacaucá.

El costo de personal colaborativo resulta ser uno de los más importantes, debido a ello es preciso mencionar que para este cargo se encuentra un rubro total de \$19.423.549 por año. Se estima que no existe un estudio que logre sopesar este tipo de costos, en efecto el contraste resulta ser casi imposible, por lo menos en Colombia.

Tabla 4 Resumen costos de mano de obra aplicación Lean

COSTO PERSONAL TÉCNICO REQUERIDO

Cargo	No. de personas	Costo mensual	Costo anual
Experto en aplicación LEAN Six Sigma	1	\$ 5.389.962	\$ 64.679.549
Técnico industrial	4	\$ 10.094.996	\$ 121.139.957
Colaboradores	2	\$ 3.237.258	\$ 38.847.099
Total Anual Mano de Obra		\$ 18.722.217	\$ 224.666.605

Fuente: elaboración propia

Se logra identificar que los costos anuales de la contratación de personal llegan a estructurarse en \$224.666.604 mil pesos. Adicionalmente a este costo se requiere contratar un servicio de metrología petrolera, el cual de acuerdo a las especificaciones encontradas en el mercado cuenta con los siguientes procedimientos, se aclara que en general las

organizaciones petroleras deberían contar con los instrumentos que se pretende calibrar, precisando la necesidad de una extracción segura y sostenible, eventualmente el costo del proceso de metrología, no varía de acuerdo con los instrumentos a calibrar, este se mantiene debido a su necesidad y la profundidad con la que se aplica el servicio:

- Calibración de Medidor Maestro, Tanques Probadores o Serafines.
- Calibración de Medidores de Flujo tipo: Desplazamiento Positivo, Turbina, Coriolis, Ultrasónico e instrumentos totalizadores de volumen.
- Calibración de Probadores (Unidireccional, Bidireccional, Compacto)
- Calibración de tanques: Cilíndrico Vertical, Cilíndrico Horizontal, Móviles (Carrotanques / Cisternas y Ferrotanques), Frac Tank, Gauge Tank y Esferas.

Este servicio se encuentra avalado en el mercado por un costo aproximado de COP 280'000.000, y una duración de tres meses. Adicional a ello es necesario tener en cuenta los gastos de oficina que se estiman a continuación:

Tabla 5 Gastos generales de aplicación Six Sigma

Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Servicios Públicos (Energía, Internet, Gas)	\$ 350.000	\$ 4.200.000
Material de Oficina	\$ 300.000	\$ 3.600.000
Oficina (arriendo)	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Servicio de Transporte	\$ 2.000.000	\$ 24.000.000
Total	\$ 3.650.000	\$ 43.800.000

Fuente: elaboración propia, con base en los informes tomados de Ecopetrol haciendo aproximaciones a las áreas requeridas.

Es necesario considerar que los gastos generales son tomados de los promedios de gastos que se establecen en informes de Ecopetrol, realizando un cálculo por personas en los puestos, adicional a ello es necesario reconocer que el servicio de transporte alimentación para los exploradores y explotadores de los yacimientos de petróleo son asumidos por la empresa colombiana dedicada a este sector, dado a ello no se tienen en cuenta como costos adyacentes ya que es necesario que el personal dedicado a la aplicación de Six Sigma se adhiera a la empresa desde su equipo de planta. Así pues se puede realizar una construcción de costos totales de aplicación teniendo en cuenta estos costos expuestos:

Tabla 6 Costo Total

Costo	Mensual	Anual
Costo total mano de obra	\$ 18.722.217	\$ 224.666.605
Servicio de Metrología pago una vez		\$ 280.000.000
Gastos generales	\$ 3.650.000	\$ 43.800.000
Total	\$ 22.372.217	\$ 548.466.605

Fuente: elaboración propia

Se comprende que por pozo de petróleo abierto se requiere una cantidad total de dinero para cubrir los costos de aplicación de Six Sigma de \$548'466.605 anual, se reconoce que la cantidad de beneficios en reducción de costos adyacentes al proceso de extracción es mucho mayor ocurriendo entonces una ventaja para la explotación.

3. CONCLUSIONES

De acuerdo con la metodología Six Sigma el proceso de aplicación tiene unas fases específicas que se encuentran dispuestas bajo el acrónimo DAMIC de acuerdo con sus siglas en inglés, cada una de estas compone una fase esencial del proceso, específicamente porque refiere a factores esenciales donde se pueden presentar fugas de tiempo y dinero, lo que implica pérdidas para la organización. La implementación de la metodología implica por demás una mejora en el proceso, pero es preciso mencionar que en un primer momento esta necesita de inversión que logre sostener la implementación del mismo.

Si bien el proceso de extracción de petróleo se encuentra muy bien reglamentado bajo la Norma Técnica Colombiana, y la legislación del país, en general, es preciso considerar desde el ámbito administrativo, que se requiere de la puesta en

marcha de procesos que lo vuelvan además de mucho más eficiente, también mucho más confiable, para ello la implementación de la metodología Six Sigma se establece como uno de los procesos más relevantes y mucho más consistentes para esta empresa, cabe reconocer que la metodología requiere sobre todo de un proceso de metrología que implica la medición de máquinas y herramientas, las cuales pueden generar sesgos de costos y una mayor posibilidad de incremento de los mismos.

Hasta el momento no existe investigaciones similares que logren identificar cuáles son los costos que en mayor medida inciden en el proceso de implementación de lean Six Sigma. En efecto se estima que los costos más relevantes implican anexar profesionales dedicados a este tipo de proceso y que son la base para la planeación adecuada de la implementación, se tiene como propuesta implementar investigaciones futuras que lleguen a validar el modelo propuesto en la presente investigación y que logren a la vez presentar propuestas para optimizar el mismo.

En cuanto al primer objetivo específico es necesario mencionar que la forma funcional de la metodología six sigma a aplicar en el proceso de extracción de petróleo, esta cimentada en los cinco pasos básicos que se rigen bajo el DMAIC, eventualmente estos son puestos en marcha en el proceso y se logra concretar los beneficios en cuanto a eficiencia y eficacia que propone la metodología especificada.

Se precisa en el objetivo específico dos, que compone los resultados que son muchos los procesos que intervienen en la extracción de petróleo entre los cuales se encuentran el encontrar el yacimiento, la preparación del mismo, la perforación, la extracción y el almacenamiento, todos ellos teniendo además su variables que son relevantes en cuanto a tiempos, lo cual implica por demás costos, no obstante, la mano de obra calificada, y el contar con una maquinaria adecuada pueden considerarse los dos factores más relevantes en la totalidad del proceso, es preciso mencionar que en general los campos de extracción de petróleo al momento no cuentan con la definición de una metodología Six Sigma, consecuentemente no se encontró una definición de los costos adyacentes, ni siquiera lo que incluye en la mano de obra calificada.

Las variables que intervienen en el proceso antes y después de la aplicación de la metodología Six Sigma definen en buena medida las condiciones en las cuales se logra producir de manera más eficaz y eficiente, eventualmente en la medición de tiempos se encuentra que estos se aminoran considerablemente después de la aplicación.

En general es preciso considerar en respuesta al objetivo específico tercero que los costos que convergen alrededor de la puesta en marcha del proceso de implementación de la metodología Six Sigma en la extracción de petróleo están destinados básicamente a personal capacitado, como se reconoce la metodología Six Sigma tiene la posibilidad de establecerse en un proceso que inicia siendo desordenado, y que tiene fuga de costos y de tiempo, para lograr establecer estándares que permitan de manera consistente mejorar este tipo de situaciones, por consiguiente esta mano de obra es ajena a la producción pero se encuentra atenta ante las diferentes situaciones que se presenten en el proceso.

El proceso de metrología que resulta ser esencial en este caso tiene la intención de llegar a evitar fugas desde la maquinaria, como se reconoce el proceso de extracción de petróleo trabaja con una maquinaria específica, por lo tanto, la ocupación del servicio metrológico se vuelve básicamente indispensable.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2013). Informe de Gestión 2012. Agencia Nacional de Hidrocarburos
- Al Kindi, Mahmud & Al Lawati, Mujtaba. (2014). Framework to Implement Six Sigma Methodology to Oil and Gas Drilling Budget Estimation. En: Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bali Indonesia.
- Al-Adwani Adnan & Al-Zuwayer Hamad. (2011). Six Sigma Approach to meet Gas Dehydration Unit Optimization. En: Society of Petroleum Engineers: Production & Facilities.
- Álvarez, L., & Serrano, I. (2009). Diseño e implementación de un sistema de control estadístico de procesos en la empresa Forcol LTDA. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Babe, I. (2000). Seis sigma: una herramienta estratégica para la calidad. Petrotecnia.
- Barrera, A., Cambra, A., & Gonzales, J. (2017). Implementación de la metodología seis sigma a la gestión de mediciones.

- Cuba: Universidad y Sociedad.
- Bubshait, Abdulaziz & Al-Dosary, Abdullah. (2014). Application of Lean Six Sigma Methodology to Reduce the Failure Rate of Valves at Oil Field. En: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. Vol. 2.
- Buell, R., & Turnlpseed, S. (2016). Application of Lean Six Sigma in Oilfield Operations. Chevron Texaco.
- Casanova, R. (2006). Mejoramiento de los tiempos operativos a las llaves hidráulicas basado en la metodología Six Sigma en Akere Energy. C.A. Revista Ciencias.
- Ecopetrol (2018). Informe de gestión. República de Colombia
- Fidalgo, S. (2016). Las seis sigma en la industria del petróleo y del gas. Petrotecnia.
- Fursule, N., Bansod S. And Fursule S. (2012). Understand the benefits and limitations of Six Sigma Methodology. International Journal of Scientific and Research Publications, 2012, Volume 2, Issue 1.
- González, K. (2010). Adaptación del modelo gerencial Six Sigma para dirigir las contrataciones del departamento de contratos de la sup-técnica del mejorador de refinación oriente PDVSA, en el complejo petroquímico de José. Barcelona: Universidad de Oriente, Departamento de Administración.
- Gomez, F. (2009). Seis Sigma. Madrid: fundación Confemetal.
- Gonzales, F. (2006). Seis Sigma para gerentes y directores. España: Libros en Red, Colección Negocios, Empresas y Economía.
- Hernández, I. (2014). LA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA SUS HERRAMIENTAS Y VENTAJAS.
- Herrera, H., & Franco, M. (2017). Estado del Arte sobre la implementación de la metodología six sigma en los procesos de la cadena de suministros de hidrocarburos. Cartagena de Indias D.T. y C: Universidad de San Buenaventura.
- J.P, A., C.C., R., & Simmons, R. (2016). Lean Six Sigma Applications in Oil and Gas Industry: Case Studie. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 6, Issue 5.
- León, M. (2002). Six Sigma - hacia un nuevo paradigma de gestión. IEEE.
- Morales, J. (2007). Aplicación de la metodología seis sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo. Universidad Iberoamericana.
- Pande, P. (2004). Las claves practicas del six sigma. México. D.F.: Mc Graw Hill.
- Pande, P., & Holpp, L. (2002). ¿Qué es el seis sigma? Aravaca (Madrid): Mc Graw Hill.
- Ruiz, R. (2017). Propuesta de mejoramiento del proceso de reacondicionamiento de pozos en un campo del oriente ecuatoriano aplicando la metodología seis sigma. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Rodríguez, P. (2014). A aplicação de lean Six Sigma na otimização das operações de perfuração de poços. Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniería de petróleos. Río de Janeiro : Rio de Janeiro Universidad Federal de Rio de Janeiro.
- Sandoval, C. (1996). Investigación cualitativa. Bogotá, Colombia: Hemeroteca Nacional Universitaria Carlos Lleras Restrepo.
- Vargas, J. (2013). Six Sigma una estrategia empresarial que está revolucionando al mundo. Bogotá, D.C. Colombia: Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
- Vizcaíno, M. 2. (2010). Propuesta de mejora para el proceso de envasado de GLP en tanques de 15kg. Mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma. Tesis de grado para optar el título de Ingeniera Industrial. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Zuluaga, P. (2016). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS DE CALIDAD EN UNA EMPRESA METALMECANICA. Universidad de Medellín