

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

**ESTRATEGIAS OPERACIONALES PARA AUMENTAR EL FACTOR DE SERVICIO DE
LOS EQUIPOS DIRECTOS DE REACONDICIONAMIENTO DE POZOS DE LA
GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL RÍO DE
ECOPETROL S.A.**

INVESTIGACIÓN PARA TRABAJO DE GRADO

Autor

WILLIAM FERNANDO VALENCIA DIAZ

Asesor

Dr. JORGE ANDRES ALVARADO VALENCIA

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
ESCUELA INTERNACIONAL DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN GERENCIA DE OPERACIONES**

Chía, Abril de 2016.

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	10
1.1 Objetivo general.....	10
1.1.1 Objetivos específicos	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. TIPO DE ESTUDIO	12
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA	12
4.1 METODOLÓGIA	22
4.1.1 Crisp-dm (Cross Industry Standard Process for Data Mining)	22
1.1.1.2 Fase de comprensión del negocio o problema	24
1.1.1.3 Fase de comprensión de los datos	26
4.1.1.4 Fase de preparación de los datos	27
4.1.1.5 Fase de modelado.....	30
4.1.1.6 Fase de evaluación.....	32
4.1.1.7 Fase de implementación	34
5. ANALISIS Y RESULTADOS.....	35
5.1 Comprensión y preparación de la base de datos.....	35
5.2 Modelado de los subcódigos activos.....	39
5.3 Códigos inactivos del equipo directo.....	45
5.4 Propuesta para el factor de servicio.....	48
6. ESTRATEGIA OPERACIONAL	53
6.1 Historia del campo Casabe	53
6.2 Introducción	54
7. PLAN TACTICO OPERACIONAL	58
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60

ESTRATEGIAS OPERACIONALES PARA AUMENTAR EL FACTOR DE SERVICIO DE LOS EQUIPOS DIRECTOS DE REACONDICIONAMIENTO DE POZOS DE LA GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL RÍO DE ECOPETROL S.A.

William F. Valencia D.

RESUMEN

El impacto en los ámbitos estratégico, táctico y operativo de las operaciones de reacondicionamiento de pozos con equipos propios de Ecopetrol S.A en la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Río para mantener y aumentar la producción de los campos de producción de petróleo que están bajo su dirección Gerencial, es fundamental para la consecución de las metas empresariales. Los equipos directos atienden las solicitudes de intervención para el mantenimiento a los pozos productores de petróleo del campo casabe que fallan por diferentes causas (tubería rota, varilla partida y limpieza de arena) y que requieren de una pronta, oportuna y rápida intervención para ingresar nuevamente el pozo a producción. La medición de la eficiencia de los servicios de mantenimiento se hace a través del factor de servicio tradicional, el cual mide el porcentaje de tiempo activo o tiempo disponible para la operación de un equipo en un trabajo de mantenimiento. Sin embargo este factor de servicio no incluye el rendimiento y la calidad. Por lo anterior es necesario proponer a la Gerencia cambiar el factor de servicio tradicional por un factor de servicio propuesto que incluya la aplicación del métrico OEE (Eficiencia general del equipo), que frente a otros indicadores mide todos los parámetros fundamentales de disponibilidad, eficiencia y calidad. En la actualidad el factor de servicio tradicional promedio para los equipos directos está en un 61%, que

aunque es un valor porcentual inaceptable a nivel mundial, se debe continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia porcentajes clase mundo. Este porcentaje indica pérdidas económicas, competitividad baja y un enorme panorama de oportunidades de mejora, que requiere se revise en detalle y se establezca estrategias operacionales que aumenten el factor de servicio de los equipos en un 85% a 92% para apalancar las metas de producción de la Gerencia. Por lo antes expuesto, esta investigación se propone responder la siguiente pregunta ¿Que estrategias a nivel operacional se deben establecer para aumentar el factor de servicio de los equipos directos de la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Río de Ecopetrol S.A.? y las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los tiempos inactivos no productivos de las actividades secundarias que afectan significativamente la eficiencia de los equipos? ¿Cuáles son los trabajos que se ejecutan con mayor frecuencia en el campo Casabe? ¿Cuáles son los tiempos activos de las actividades secundarias en los cuales el equipo directo tiene opciones de mejora para aumentar el rendimiento de las operaciones? ¿Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tiempos activos de las actividades secundarias del equipo directo versus el equipo tercerizado?. Este será un estudio teórico basado en la revisión de documentos que tiene como fuente de información los datos cargados en la herramienta open wells de Ecopetrol S.A y la estadística que lleva la coordinación de subsuelo del rio para todos los trabajos que se hacen con los equipos directos. Para la selección de la muestra se tomará como referente la data cargada de los años 2013 y 2014.

Palabras clave: reacondicionamiento de pozos, medición del desempeño, eficiencia de los equipos, gestión del rendimiento, calidad, factor de servicio y tiempos no productivos.

GLOSARIO

EQUIPOS DE REACONDICIONAMIENTO DE POZOS: El equipo de reacondicionamiento es usado para realizar el mantenimiento y reparación del pozo cuando falla por diferentes causas, por ejemplo: tubería rota, arenamiento, revestimiento colapsado, etc.

FACTOR DE SERVICIO: Eficiencia operacional que se le mide a los equipos de trabajos de subsuelo en función de los tiempos productivos o activos para ejecutar una determinada reparación de un pozo.

SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL: El levantamiento artificial trabaja de dos formas básicas, ya sea disminuyendo la densidad del fluido que se produce o añadiendo una energía extra en un punto dado de la tubería. Las técnicas más comunes incluyen la inyección de gas (también llamada bombeo neumático), el bombeo mecánico (BM), hidráulico (BH), las bombas electro sumergibles (BES) y de cavidad progresiva (BCP).

DIFERIDA DE PRODUCCIÓN: Volumen de petróleo que el pozo no produce durante su tiempo de falla y reparación.

COSTO DE LEVANTAMIENTO: Es el costo de sacar un barril y dejarlo listo para la venta (costo de levantamiento, como se le llama en la industria).

OEE: (Eficiencia General de los Equipos) es una relación porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de cualquier proceso (personas, máquinas o combinación de éstos).

CALIDAD: Para este proyecto está referido a la terminación exitosa del pozo dentro de los tiempos planeados para la intervención sin que se genere un reproceso o error operacional que aumente el tiempo de intervención y los costos del servicio.

TIEMPOS NO PRODUCTIVOS: Periodo determinado en el cual no se realizan actividades de mantenimiento del pozo porque el equipo de reacondicionamiento está parado o detenido por causas no propias de la operación.

OPEN WELLS: Base de datos de propiedad de Ecopetrol S.A, donde se almacena toda la información operativa de los pozos durante su etapa de perforación, completamiento, intervenciones y abandono definitivo.

PCP: Sistema de levantamiento artificial por cavidades progresivas.

BM: Sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico.

BES: Sistema de levantamiento artificial por bombeo electro sumergible.

FN: Flujo natural.

TERCERIZADOS: Equipos para el mantenimiento de los pozos de petróleo e inyección propiedad de Ecopetrol S.A, que se le entregan a un tercero en administración para la ejecución de una actividad de mantenimiento de pozo, operado por personal que están bajo el mando y dirección del contratista.

DIRECTOS: Equipos para el mantenimiento de los pozos de petróleo e inyección propiedad de Ecopetrol S.A, que son operados con personal vinculado directamente a Ecopetrol S.A.

CÓDIGO: Es la identificación numérica que se le da en OpenWells a las variables cualitativas, que enmarca una actividad general y que hacen parte de un conjunto de actividades principales que se desarrollan para el alcance del objetivo del trabajo de mantenimiento del pozo.

SUBCODIGO: Es la identificación numérica que se le da en OpenWells a las variables cualitativas, que está contenida dentro de un código y que hacen parte de un conjunto de actividades secundarias que se desarrollan para el alcance del objetivo principal del trabajo de mantenimiento del pozo.

EQUIPO ACTIVO: Es el tiempo correspondiente a todas aquellas actividades en las cuales se encuentra trabajando continuamente el equipo.

EQUIPO INACTIVO: Es el tiempo correspondiente a todas aquellas actividades en las cuales no se encuentra trabajando el equipo, pero están operacionalmente disponibles.

EQUIPO EN MOVILIZACIÓN: Es el tiempo transcurrido desde la liberación del equipo en el pozo y la recepción del mismo en el pozo destino. Según el tipo de contrato, se definirá un tiempo máximo para la movilización en función de la distancia.

NPT: Non Productive Time: Son todos los Tiempos No Productivos (Down Time), que afectan la terminación exitosa del trabajo.

EQUIPO: Equipo para el mantenimiento de pozos

PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad el campo Casabe que pertenece a la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Río de Ecopetrol S.A, posee siete equipos para el mantenimiento de los pozos de producción, de los cuales solo puede operar cuatro con personal directo para mantener la producción básica de petróleo por día en el campo Casabe. Estos equipos manejan un factor de servicio tradicional promedio anual de 61%, que es un valor porcentual inaceptable a nivel mundial e impacta en el incremento de la diferida de producción promedio anual en 257.208 barriles de petróleo (Fuente: Estadísticas de la CSR, año 2014).

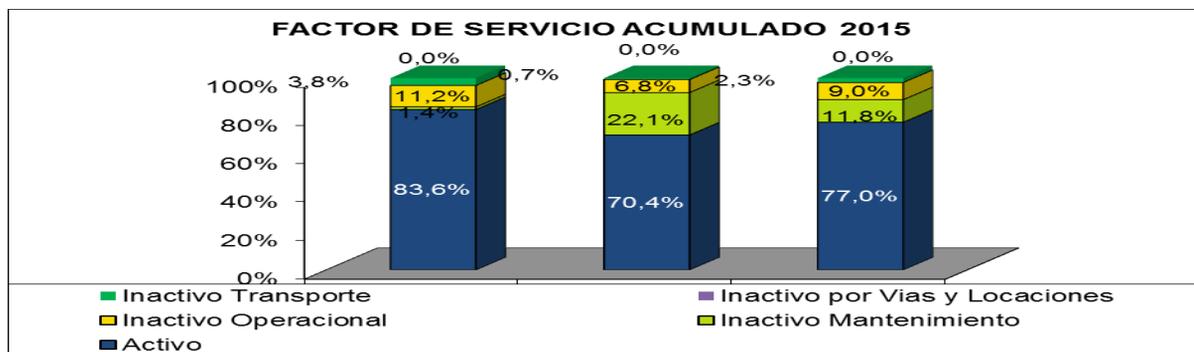
El aumento de la diferida de producción producto de la ineficiencia operacional de los equipos directos genera una disminución en el flujo de caja anual de la Gerencia en USD 12.135.952 (Fuente: Estadísticas de la CSR, año 2014). Sumado a lo anterior, el costo de levantamiento promedio del campo Casabe está en 34 dólares/barril (Fuente: Información financiera del campo Casabe año 2015), por lo que se hace necesario e imperativo adelantar una investigación para establecer estrategias operacionales a nivel Gerencial que eliminen o disminuyan los tiempos no productivos que afecta la eficiencia del equipo.

De forma continua se hace seguimiento al factor de servicio de los equipos, presentando los tiempos improductivos para tomar acciones que se encaminen a aumentar la eficiencia. El porcentaje actual indica pérdidas económicas, baja competitividad y un enorme panorama de oportunidades de mejora, que requiere revisar en detalle para

establecer estrategias operacionales que aumenten el factor de servicio de los equipos en un 85% a 92% para apalancar las metas de producción de la Gerencia. Sin embargo este factor de servicio tradicional solo mide la disponibilidad del equipo en el pozo.

Por lo anterior es necesario proponer a la Gerencia cambiar la forma de medir el factor de servicio tradicional por un factor de servicio propuesto que involucre la aplicación del métrico OEE (Eficiencia general del equipo) que frente a otros indicadores mide todos los parámetros fundamentales de disponibilidad, eficiencia y calidad. La medición del factor de servicio con este métrico propuesto identificará las mejoras de los procesos y el liderazgo en la disminución de los costos en las operaciones de reacondicionamiento de pozos.

TABLA N.1 FACTOR DE SERVICIO ACUMULADO 2015.



Fuente: Estadísticas de la coordinación de subsuelo del río (2015).

Por lo ya expuesto, este proyecto busca entonces responder a la pregunta ¿Que estrategias a nivel operacional se deben establecer para aumentar el factor de servicio de los equipos directos en la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Río de Ecopetrol S.A? y las siguientes preguntas específicas: ¿Cuáles son los tiempos inactivos

no productivos de las actividades secundarias que afectan significativamente la eficiencia de los equipos? ¿Cuáles son los trabajos que se ejecutan con mayor frecuencia en el campo Casabe? ¿Cuáles son los tiempos activos de las actividades secundarias en los cuales el equipo directo tiene opciones de mejora para aumentar el rendimiento de las operaciones? ¿Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tiempos activos de las actividades secundarias del equipo directo versus el equipo tercerizado?

La respuesta a esta pregunta permitirá tener evidencia estadística de la situación actual de los equipos directos de reacondicionamiento de pozos y su influencia real para el aporte a la producción promedio de la Gerencia, de forma tal que contribuyan a diseñar estrategias que aumenten el factor de servicio y potencie la competitividad de los equipos al interior de Ecopetrol S.A, para generar un mayor valor agregado.

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 Objetivo general

Establecer las estrategias operacionales para aumentar el factor de servicio de los equipos de reacondicionamiento de pozos directos de Ecopetrol S.A.

1.1.1 Objetivos específicos

- Realizar minería de datos para identificar puntos de mejoramiento en los tiempos activos de las actividades secundarias, comparando los equipos tercerizados con los equipos directos.

- Analizar los tiempos inactivos de las actividades secundarias en los equipos directos para encontrar puntos de mejoramiento.
- Integrar los resultados del análisis en un indicador integral de seguimiento al factor de servicio que tenga en cuenta un conjunto de estrategias operacionales diseñadas para su manejo.

2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto se justifica en la circunstancia actual de la empresa, ya que los bajos precios del petróleo y los altos costos operacionales, hacen que se revise en detalle el factor de servicio de los equipos directos, que son los que ejecutan las actividades de mantenimiento de los pozos productores e inyectores.

En este trabajo se presentará una evaluación exitosa y efectiva del OEE que lo hará identificar las áreas de mejora operativa y cómo esas actividades podrían ser organizadas y gestionadas de forma más eficaz.

El resultado de esta investigación hace posible presentar el OEE como punto de referencia que se utiliza para comparar la eficiencia operacional al finalizar la intervención de mantenimiento del equipo directo versus el menor tiempo promedio histórico establecido por el equipo tercerizado o contratado. Por lo tanto, al disminuir o eliminar los tiempos no productivos en las operaciones de mantenimiento de pozos, se interviene en menor tiempo los pozos que están en ruta de ser intervenidos, lo cual disminuye la diferida de producción y los costos operacionales de intervención con equipo.

3. TIPO DE ESTUDIO

El proyecto se centra en un estudio teórico basado en la revisión documental, ya que se analiza información registrada en la herramienta open wells de los años 2013 y 2014 sobre el tema objeto de estudio, asociadas a los tiempos operativos planeados y no planeados que afectan la eficiencia de los equipos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

Las actividades de mantenimiento y reparación pueden generar muchos desechos que podrían afectar la producción de los pozos de petróleo. Las operaciones petroleras son procesos continuos y se convierten en discretas (Ken y Stewart, 1987).

Los pozos de petróleo requieren mantenimiento y reparación, debido al desgaste normal y a los efectos abrasivos de la arena de producción (Ken y Stewart, 1987).

Los cambios de las bombas en los sistemas de levantamiento del campo y las limpiezas de arena son las operaciones que más realizan los equipos de reacondicionamiento de pozos (Ga'bor, 1999).

Las operaciones de reacondicionamiento de pozos son las actividades que se ejecutan para resolver problemas específicos del pozo (Ken y Stewart, 1987); requieren de un programa ordenado paso a paso para lograr el objetivo de forma segura, con un gasto mínimo de recursos económicos y logísticos (Ken y Stewart, 1987; Spoerker y Doschek 2005).

Por lo anterior, los tiempos no productivos que afectan la eficiencia del equipo y genera diferida de producción asociada en los pozos que están parados a la espera de un equipo de mantenimiento, deben eliminarse para disminuir los costos y reestablecer la producción. La eficiencia general de los equipos (OEE), es un valor porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial. La ventaja del métrico OEE frente a otros indicadores es que mide todos los parámetros fundamentales de disponibilidad, rendimiento y calidad (Ahmad y Benson, 1999).

El OEE se utiliza para medir la eficiencia en el mantenimiento preventivo e identifica los equipos para mejorar individualmente mediante la reducción de los tiempos no productivos (Ahmad y Benson, 1999; Jeong y Phillips, 2001).

Se dice que el OEE engloba todos los parámetros fundamentales, porque del análisis de las tres razones que lo forman, es posible saber si lo que falta hasta el 100% se ha perdido por disponibilidad (la maquinaria estuvo cierto tiempo parada), rendimiento (la maquinaria estuvo funcionando a menos de su capacidad total) o calidad (se han producido unidades defectuosas).

Nakajima (1988), sugirió que los valores ideales para el componente OEE se discriminan de la siguiente forma:

- OEE < 65% Inaceptable. Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.
- 65% < OEE < 75% Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.

- 75% < OEE < 85% Aceptable. Continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia clase mundo. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
- 85% < OEE < 95% Buena. Entra en Valores clase mundo. Buena competitividad.
- OEE > 95% Excelencia. Valores clase mundo. Excelente competitividad.

OEE se mide en términos de estos seis grandes indicadores:

1. Paradas/Averías.
2. Configuración y Ajustes.
3. Pequeñas Paradas.
4. Reducción de velocidad.
5. Rechazos por Puesta en Marcha.
6. Rechazos de Producción.

Los parámetros descritos anteriormente son una función de la disponibilidad, tasa de rendimiento y tasa de calidad de la máquina (Ahmad y Benson, 1999; Nakajima y Ga'bor, 1988):

$$\text{OEE} = \% \text{Disponibilidad} * \% \text{Tasa de rendimiento} * \% \text{Tasa de calidad}$$

La eficiencia general de los equipos (OEE), está diseñado para apalancar el esfuerzo continuo en las mejoras de los procesos y liderazgo en costos en las operaciones de reacondicionamiento de pozos. Los reportes de las operaciones día a día de los diferentes equipos se almacenan en la base de datos corporativa de Ecopetrol S.A (OpenWells), el cual contiene la información de todos los campos de la Gerencia de operaciones de desarrollo y producción del río, y es la fuente de información para la investigación de los tiempos no productivos y productivos en los trabajos que se ejecutan en los diferentes pozos. Se adopta un enfoque de estudio de teórico basado en la revisión de documentos. Para la recolección de la información se propone analizar la estadística de los años 2013, 2014 y el reporte del factor del servicio que se maneja en la coordinación de subsuelo del río mes a mes. De igual forma se incluirá la participación del personal directo, los reportes diarios de operación, el análisis y la experiencia laboral. Las principales inactividades de los equipos directos de la Gerencia se muestran en la siguiente tabla.

TABLA N. 2. FACTOR DE SERVICIO ACUMULADO DE LA CSR AÑO 2015.

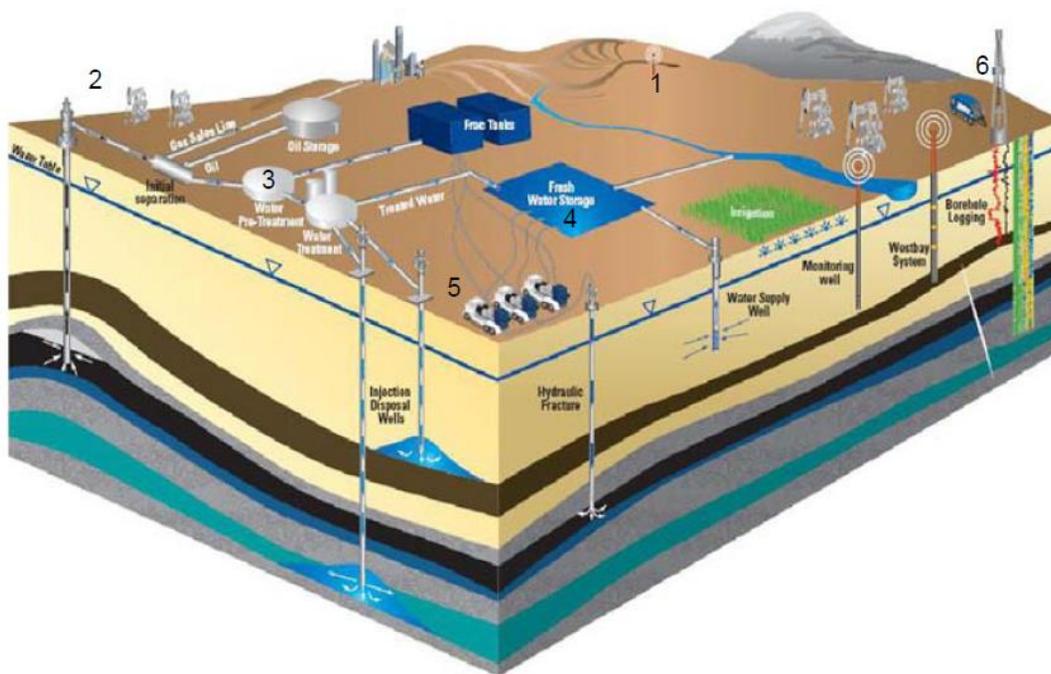
FACTOR DE SERVICIO ACUMULADO 2015			
	VARILLEO	WORKOVER	PROM(VARI Y WO)
Activo	83,6%	70,4%	77,0%
Inactivo Mantenimiento	1,4%	22,1%	11,8%
Inactivo Operacional	11,2%	6,8%	9,0%
Inactivo por Vías y Locaciones	0,0%	0,0%	0,0%
Inactivo Transporte	3,8%	0,7%	2,3%
	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Coordinación de subsuelo del río (2015).

Las operaciones del campo tienen diferentes procesos para mantener la producción de petróleo, como se muestra en la figura 1. Los diversos procesos son:

1. Perforación
2. Producción
3. Separación
4. Tratamiento de aguas
5. Mantenimiento
6. Trabajos de subsuelo

IMAGEN 4.1. PROCESOS PRODUCTIVOS DE CAMPOS PETROLEROS



Fuente: Manual de operaciones de trabajos de subsuelo (2005).

Los procesos de explotación de campos petroleros normalmente se ven afectados por algunos factores que conducen a grandes pérdidas de producción, tales como los tiempos de inactividad de la operación de reacondicionamiento (Sonatrach y forraje, 2007).

Por lo tanto, la diferida de producción asociada a la espera de los servicios de mantenimiento de pozos debe ser atacada a la mayor brevedad posible (Francis y Richard, 1995).

Un trabajo de reacondicionamiento de pozos productores o inyectoras puede requerir diferentes actividades para corregir un problema (Ken y Stewart, 1987; Arnold y Stewart, 1998-1999).

Para el caso de Ecopetrol, la empresa posee en esta Gerencia 7 equipos propios, de los cuales 2 equipos están tercerizados, es decir, que son administrados por un contratista que presta el servicio de mantenimiento de pozos para el campo. El tiempo promedio de cada servicio involucra una serie de actividades secundarias que afectan el tiempo de servicio al pozo, tiempo en el cual el pozo no está en producción. Algunos trabajos de reacondicionamiento requieren de una larga planificación, si el evento es una intervención programada o de emergencia (Sonatrach y Forraje, 2007).

La decisión que se toma para enviar un equipo de reacondicionamiento a atacar un pozo que está en diferida se basa en factores tales como: el potencial del pozo, la distancia del equipo al pozo y el tipo de trabajo a ejecutar. El problema de la programación del equipo de mantenimiento de pozo, consiste en encontrar la disponibilidad del equipo para que la diferida de producción asociada a la espera del equipo se minimice (Sonatrach y forraje, 2007; Blikra et al., 2002).

El costo total incluye los gastos de los equipos de reacondicionamiento (transporte, instalación y operación), que son funciones del tiempo y las distancias, además de la

diferida de producción de los pozos que están a la espera de los equipos que dependen del tiempo (Sonatrach y forraje, 2007).

Por lo tanto, el costo total depende de la programación de los equipos y la disponibilidad de los mismos para atender la diferida de producción. El ciclo del tiempo de los trabajos de reacondicionamiento de pozos comprende desde el inicio hasta colocar el pozo en producción (Ahmad y Benson, 1999; Ahmad y Dhafr, 2003).

El ciclo de tiempo real para esta investigación abarca todo el tiempo que se necesita para colocar el pozo en producción. El tiempo comprende normalmente las siguientes actividades:

1. Tiempo para movilizar el equipo.
2. El tiempo para controlar el pozo.
3. El tiempo para sacar la sarta de tubería con la bomba del sistema de levantamiento artificial.
4. El tiempo de las actividades que requiere el pozo para reactivarlo.
5. El tiempo para bajar la sarta de tubería con la bomba del sistema de levantamiento artificial.
6. El tiempo para poner el pozo a producción.

Una evaluación completa de la eficiencia del equipo de mantenimiento debe incluir el efecto de todas las actividades de operación previstas e imprevistas en el funcionamiento global (Sonatrach y forraje, 2007).

La investigación seleccionara los mejores tiempos logrados de los equipos en actividades similares para comparar su eficiencia en función de todas las actividades que involucran tiempos activos, inactivos y disponibilidad del equipo por causa mecánica o eléctrica. La teoría implica que cualquier reparación de pozos debe ser capaz de igualar el mejor tiempo. El tiempo necesario para llevar a cabo estas actividades de operación se define como el tiempo total de servicio a pozo (TTS) en hora:

TTS (Horas)= Tiempo de movilización + tiempo de instalación + tiempos activos + tiempos inactivos + tiempo desinstalar el equipo

El mejor tiempo total de servicio a pozo (MTTS) se define como la suma los mejores tiempos alcanzados en actividades similares logrado por cualquier equipo. Este tiempo proporciona una medida relativa de la eficiencia del equipo.

MTTS (Horas)= Tiempo de movilización + tiempo de instalación + tiempos activos + tiempos inactivos + tiempo desinstalar el equipo

En la actualidad se calcula el factor de servicio tradicional de los equipos así :

$$FS = \frac{\# Hrs EA + \# Hrs EI + \# Hrs Mov}{\# Hrs EA + \# Hrs EI + \# Hrs Mov + NPTie} * 100$$

Donde:

#EA = Horas de equipo Activo

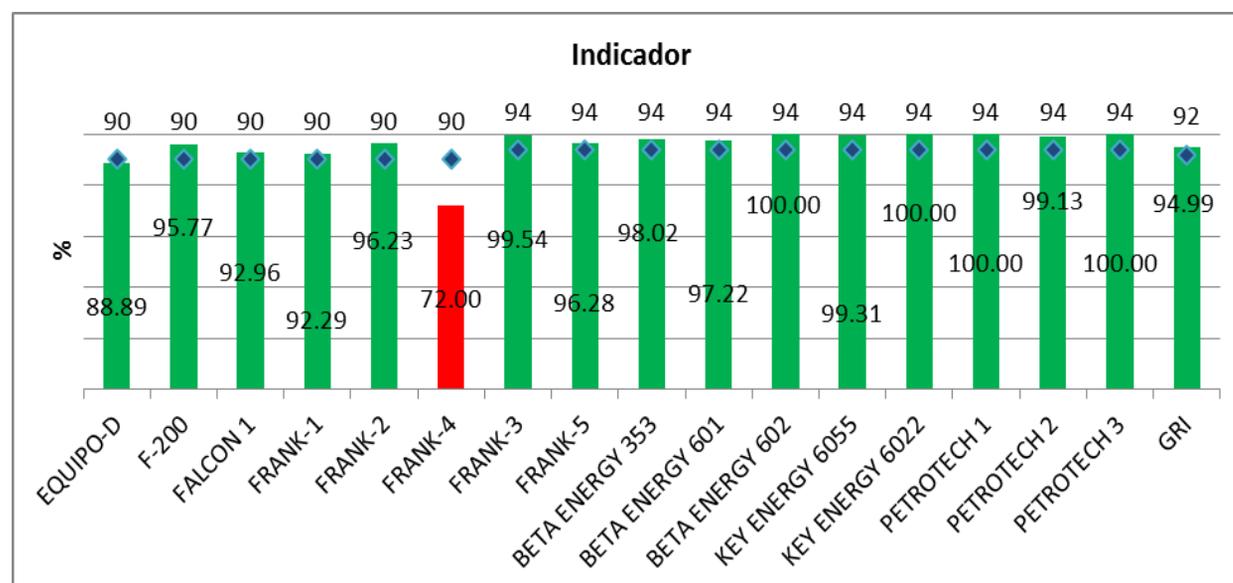
#EI = Horas de equipo Inactivo

#Mov = Horas de equipo en Movilización

#NPTie = Horas de tiempos no productivos.

Ejemplo de los factores de servicio tradicional para los equipos se muestra en la gráfica 1.

GRAFICA 1. INDICADOR DEL FACTOR DE SERVICIO DE LOS EQUIPOS DE LA CSR.



Fuente: Coordinación subsuelo del río (2014).

La eficiencia de las intervenciones puede cubrir el tiempo, la distancia, el rendimiento, la calidad y los parámetros financieros. Los análisis de estos procesos son esenciales para la identificación de las principales causas que afectan el desempeño general de los procesos (Ahmad y Dhafr, 2003).

La eficiencia se define como una medida del rendimiento productivo para un determinado conjunto de entradas (Ahmad y Dhafr, 2002; Dal et al., 2006).

La disminución en los costos de reacondicionamiento son una de las consecuencias de la mejora de la eficiencia (Spoerker y Doschek, 2005).

Eficiencia= MTTTS/TTS

Las eficiencias de la reparación de pozos se basan en los datos históricos que se pueden utilizar para predecir el rendimiento futuro en cada pozo. Con base a lo anterior se elaboró la siguiente tabla de simulación de la eficiencia para los equipos directos con reducciones en su tiempo promedio de intervención con respecto al mejor tiempo total de intervención establecido por el equipo tercerizado.

TABLA N.2. SIMULACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA LOS EQUIPOS DIRECTOS.

TABLA DE SIMULACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA LOS EQUIPOS DIRECTOS							
SISTEMA	OBJETIVO	DURACIÓN PROMEDIO DIRECTO (HORAS)	DURACIÓN PROMEDIO TERCERIZADO (HORAS)	EFICIENCIA ACTUAL	EFICIENCIA SIMULADA		
					10%	20%	30%
BOMBEO MECÁNICO (BM)	LIMPIEZA DE ARENA CON COILED TUBING	209	127	61%	67%	76%	87%
	LIMPIEZA DE ARENA CON DESARENADORA	173	106	61%	68%	77%	88%
	LIMPIEZA DE ARENA POR CIRCULACIÓN	227	110	49%	54%	61%	69%
	VARILLO CON EQUIPO	110	59	53%	59%	66%	76%
CAVIDADES PROGRESIVAS (PCP)	LIMPIEZA DE ARENA CON COILED TUBING	196	136	69%	77%	86%	99%
	LIMPIEZA DE ARENA CON DESARENADORA	227	117	52%	57%	64%	74%
	LIMPIEZA DE ARENA POR CIRCULACIÓN	222	114	51%	57%	64%	74%
	VARILLO CON EQUIPO	123	71	57%	64%	72%	82%

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

El costo promedio de servicio tipo a pozo se define como:

$$CPS = \frac{CPR}{CPP} * 100$$

Donde:

CPR: Costo promedio real en dólares

CPP: Costo promedio planeado en dólares

4.1 METODOLÓGIA

4.1.1 Crisp-dm (Cross Industry Standard Process for Data Mining)

Para el análisis y la depuración de la base de datos con la información que se tiene de open wells, no es posible desarrollar un modelo estocástico completo, pero si es posible utilizar la metodología Crisp-dm utilizados en los ambientes académico e industrial, la cual nos proporciona un método estructurado de minería de datos con el fin de encontrar factores que se relacionan significativamente con la eficiencia de los equipos.

El Crisp-dm es la guía de referencia más ampliamente utilizada en el desarrollo de proyectos de Data Mining, como se puede constatar en la imagen 4.2. En esta imagen, publicada el año 2007 por kdnuggets.com, representa el resultado obtenido en sucesivas encuestas efectuadas durante los últimos años, respecto del grado de utilización de las principales guías de desarrollo de proyectos de Data Mining. En ella se puede observar el uso de esta frente a otras.

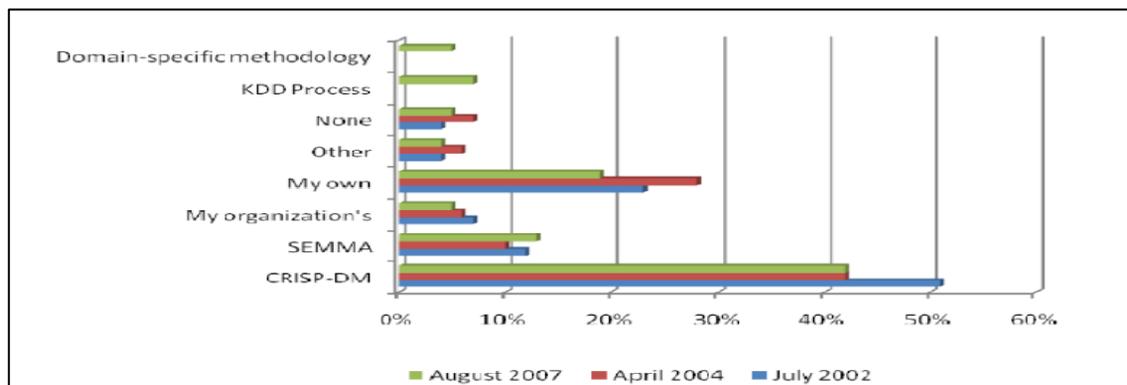


Imagen No. 4.2. Metodologías utilizadas en Data Mining ([kdnuggets, 2007]).

CRISP-DM, está dividida en 4 niveles de abstracción organizados de forma jerárquica (imagen 4.3) en tareas que van desde el nivel más general, hasta los casos más específicos y organiza el desarrollo de un proyecto de Data Mining, en una serie de seis fases (imagen 4.4):

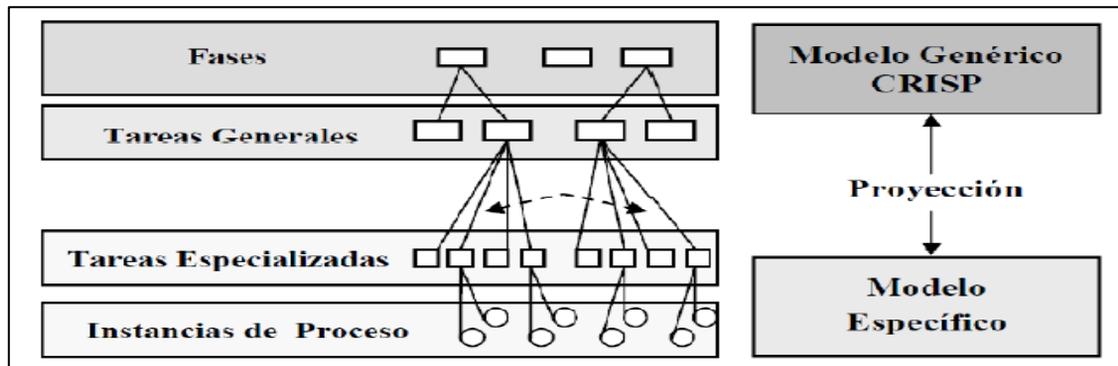


Imagen No. 4.3. . Esquema de los 4 niveles de CRISP-DM ([CRISP-DM, 2000]).

La sucesión de fases no es necesariamente rígida. Cada fase es estructurada en varias tareas generales de segundo nivel. Las tareas generales se proyectan a tareas específicas, donde finalmente se describen las acciones que deben ser desarrolladas para situaciones específicas, pero en ningún momento se propone como realizarlas.

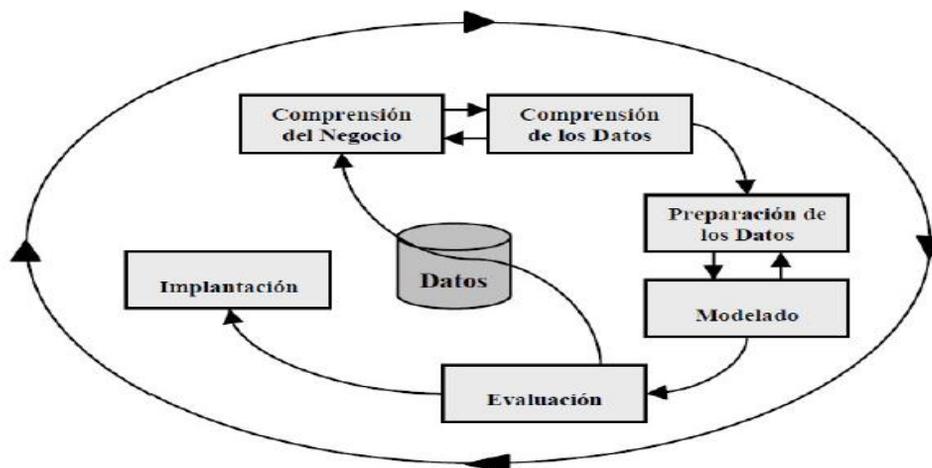


Imagen No. 4.4. Modelo de proceso CRISP-DM ([CRISP-DM, 2000]).

A continuación se describen cada una de las fases en que se divide CRISP-DM.

1.1.1.2 Fase de comprensión del negocio o problema

La primera fase de la guía de referencia CRISP-DM, denominada fase de comprensión del negocio o problema (imagen 4.5), es probablemente la más importante y aglutina las tareas de comprensión de los objetivos y requisitos del proyecto desde una perspectiva empresarial o institucional, con el fin de convertirlos en objetivos técnicos y en un plan de proyecto. Sin lograr comprender dichos objetivos, ningún algoritmo por muy sofisticado que sea, permitirá obtener resultados fiables. Para obtener el mejor provecho de Data Mining, es necesario entender de la manera más completa el problema que se desea resolver, esto permitirá recolectar los datos correctos e interpretar correctamente los resultados. En esta fase, es muy importante la capacidad de poder convertir el conocimiento adquirido del negocio, en un problema de Data Mining y en un plan preliminar cuya meta sea el alcanzar los objetivos del negocio. Una descripción de cada una de las principales tareas que componen esta fase es la siguiente:

Determinar los objetivos del negocio. Esta es la primera tarea a desarrollar y tiene como metas determinar cuál es el problema que se desea resolver, por qué la necesidad de utilizar Data Mining y definir los criterios de éxito. Los problemas pueden ser diversos como por ejemplo, detectar fraude en el uso de tarjetas de crédito, detección de intentos de ingreso indebido a un sistema, asegurar el éxito de una determinada campaña publicitaria, etc. En cuanto a los criterios de éxito, estos pueden ser de tipo cualitativo, en cuyo caso un experto en el área de dominio califica el resultado del proceso de tipo

cuantitativo, por ejemplo, el número de detecciones de fraude o la respuesta de clientes ante una campaña publicitaria.

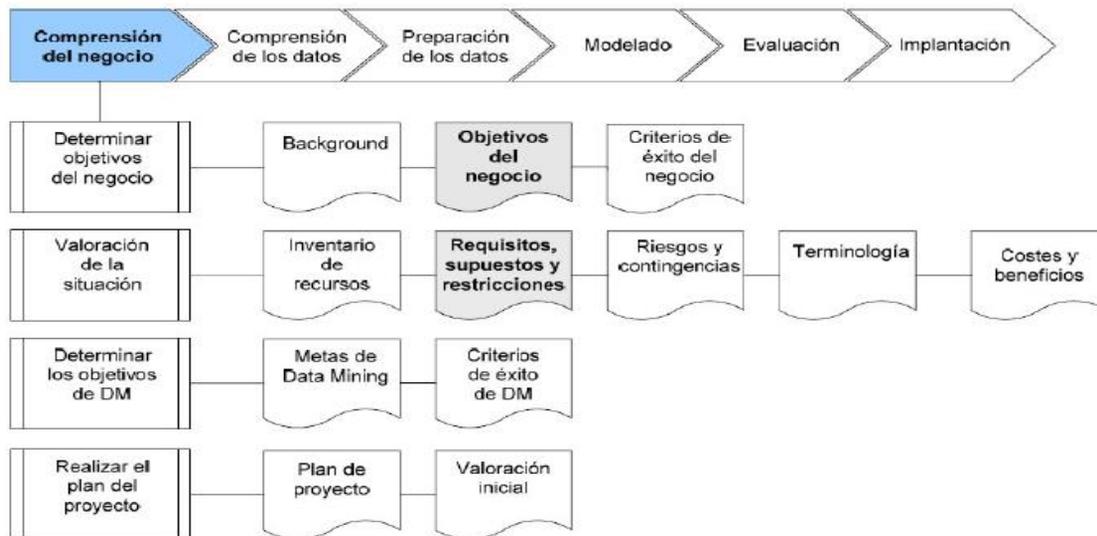


Imagen No. 4.5. Fase de comprensión del negocio ([CRISP-DM, 2000]).

Evaluación de la situación. En esta tarea se debe calificar el estado de la situación antes de iniciar el proceso de DM, considerando aspectos tales como: ¿cuál es el conocimiento previo disponible acerca del problema?, ¿se cuenta con la cantidad de datos requerida para resolver el problema?, ¿cuál es la relación coste beneficio de la aplicación de DM?, etc. En esta fase se definen los requisitos del problema, tanto en términos de negocio como en términos de Data Mining.

Determinación de los objetivos de DM. Esta tarea tiene como objetivo representar los objetivos del negocio en términos de las metas del proyecto de DM, como por ejemplo, si el objetivo del negocio es el desarrollo de una campaña publicitaria para incrementar la asignación de créditos hipotecarios, la meta de DM será por ejemplo, determinar el perfil de los clientes respecto de su capacidad de endeudamiento.

Producción de un plan del proyecto. Finalmente esta última tarea de la primera fase de CRISP-DM, tiene como meta desarrollar un plan para el proyecto, que describa los pasos a seguir y las técnicas a emplear en cada paso.

1.1.1.3 Fase de comprensión de los datos

La segunda fase (imagen 4.6), fase de comprensión de los datos, comprende la recolección inicial de datos, con el objetivo de establecer un primer contacto con el problema, familiarizándose con ellos, identificar su calidad y establecer las relaciones más evidentes que permitan definir las primeras hipótesis. Esta fase junto a las próximas dos fases, son las que demandan el mayor esfuerzo y tiempo en un proyecto de DM. Por lo general si la organización cuenta con una base de datos corporativa, es deseable crear una nueva base de datos ad-hoc al proyecto de DM, pues durante el desarrollo del proyecto, es posible que se generen frecuentes y abundantes accesos a la base de datos a objeto de realizar consultas y probablemente modificaciones, lo cual podría generar muchos problemas.

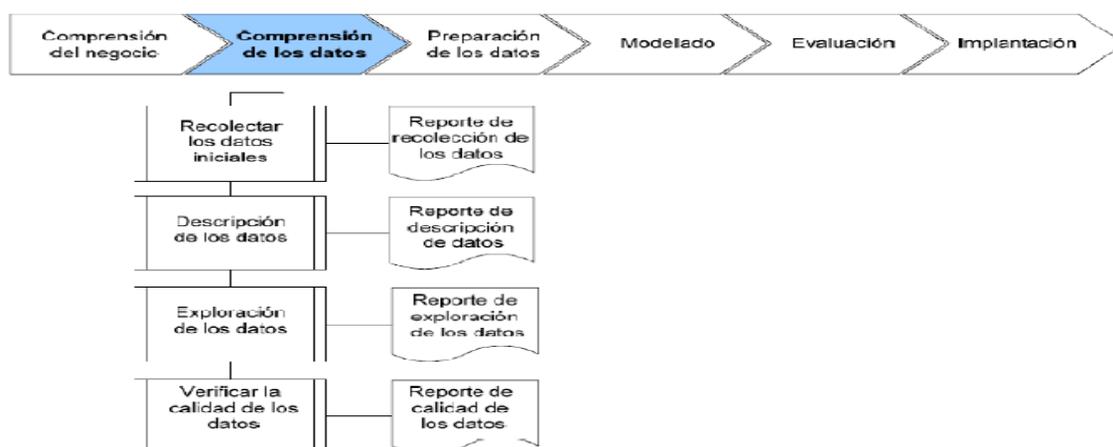


Imagen No. 4.6. Fase de comprensión de los datos ([CRISP-DM, 2000]).

Las principales tareas a desarrollar en esta fase del proceso son:

Recolección de datos iniciales. La primera tarea en esta segunda fase del proceso de CRISP-DM, es la recolección de los datos iniciales y su adecuación para el futuro procesamiento. Esta tarea tiene como objetivo, elaborar informes con una lista de los datos adquiridos, su localización, las técnicas utilizadas en su recolección y los problemas y soluciones inherentes a este proceso.

Descripción de los datos. Después de adquiridos los datos iniciales, estos deben ser descritos. Este proceso involucra establecer volúmenes de datos (número de registros y campos por registro), su identificación, el significado de cada campo y la descripción del formato inicial.

Exploración de datos. A continuación, se procede a su exploración, cuyo fin es encontrar una estructura general para los datos. Esto involucra la aplicación de pruebas estadísticas básicas, que revelen propiedades en los datos recién adquiridos, se crean tablas de frecuencia y se construyen gráficos de distribución. La salida de esta tarea es un informe de exploración de los datos.

Verificación de la calidad de los datos. En esta tarea, se efectúan verificaciones sobre los datos, para determinar la consistencia de los valores individuales de los campos, la cantidad y distribución de los valores nulos, y para encontrar valores fuera de rango, los cuales pueden constituirse en ruido para el proceso. La idea en este punto, es asegurar la completitud y corrección de los datos.

4.1.1.4 Fase de preparación de los datos

En esta fase y una vez efectuada la recolección inicial de datos, se procede a su preparación para adaptarlos a las técnicas de Data Mining que se utilicen posteriormente, tales como técnicas de visualización de datos, de búsqueda de relaciones entre variables u otras medidas para exploración de los datos. La preparación de datos incluye las tareas generales de selección de datos a los que se va a aplicar una determinada técnica de modelado, limpieza de datos, generación de variables adicionales, integración de diferentes orígenes de datos y cambios de formato. Esta fase se encuentra relacionada con la fase de modelado, puesto que en función de la técnica de modelado elegida, los datos requieren ser procesados de diferentes formas. Es así que las fases de preparación y modelado interactúan de forma permanente. La imagen 4.7, ilustra las áreas de que se compone ésta, e identifica sus salidas. Una descripción de las tareas involucradas en esta fase es la siguiente: Selección de datos. En esta etapa, se selecciona un subconjunto de los datos adquiridos en la fase anterior, apoyándose en criterios previamente establecidos en las fases anteriores: calidad de los datos en cuanto a completitud y corrección de los datos y limitaciones en el volumen o en los tipos de datos que están relacionadas con las técnicas de DM seleccionadas. Limpieza de los datos. Esta tarea complementa a la anterior, y es una de las que más tiempo y esfuerzo consume, debido a la diversidad de técnicas que pueden aplicarse para optimizar la calidad de los datos a objeto de prepararlos para la fase de modelación. Algunas de las técnicas a utilizar para este propósito son: normalización de los datos, desratización de campos numéricos, tratamiento de valores ausentes, reducción del volumen de datos, etc.

Estructuración de los datos. Esta tarea incluye las operaciones de preparación de los datos tales como la generación de nuevos atributos a partir de atributos ya existentes, integración de nuevos registros o transformación de valores para atributos existentes.

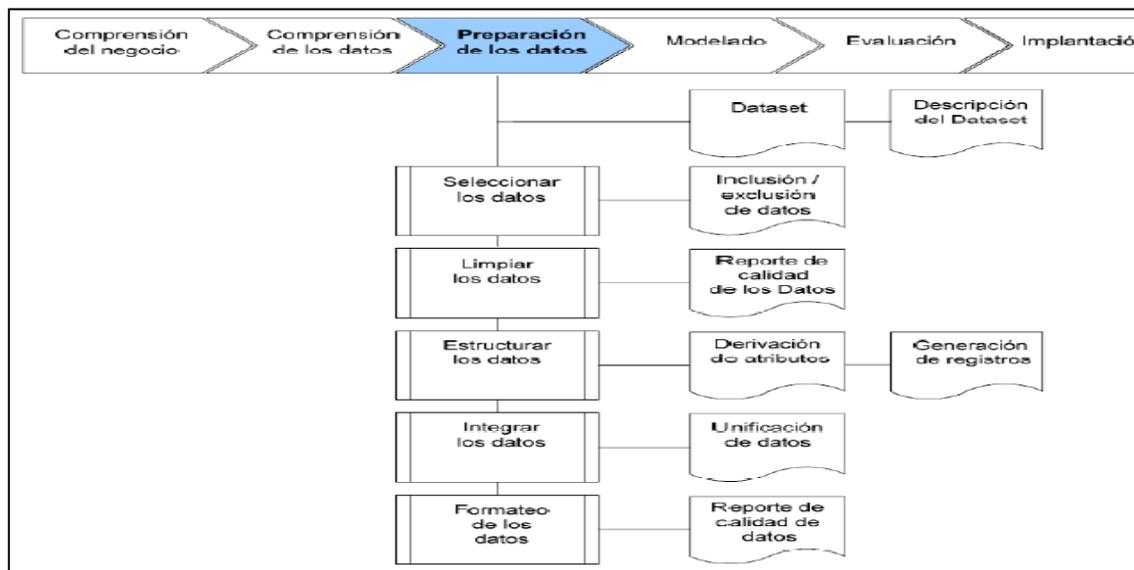


Imagen No. 4.7. Fase de preparación de los datos ([CRISP-DM, 2000]).

Integración de los datos. La integración de los datos, involucra la creación de nuevas estructuras, a partir de los datos seleccionados, por ejemplo, generación de nuevos campos a partir de otros existentes, creación de nuevos registros, fusión de tablas campos o nuevas tablas donde se resumen características de múltiples registros o de otros campos en nuevas tablas de resumen.

Formateo de los datos. Esta tarea consiste principalmente, en la realización de transformaciones sintácticas de los datos sin modificar su significado, esto, con la idea de permitir o facilitar el empleo de alguna técnica de DM en particular, como por ejemplo la reordenación de los campos y/o registros de la tabla o el ajuste de los valores de los campos a las limitaciones de las herramientas de modelación (eliminar comas,

tabuladores, caracteres especiales, máximos y mínimos para las cadenas de caracteres, etc.).

4.1.1.5 Fase de modelado

En esta fase de CRISP-DM, se seleccionan las técnicas de modelado más apropiadas para el proyecto de Data Mining específico. Las técnicas a utilizar en esta fase se eligen en función de los siguientes criterios:

- ✓ Ser apropiada al problema.
- ✓ Disponer de datos adecuados.
- ✓ Cumplir los requisitos del problema.
- ✓ Tiempo adecuado para obtener un modelo.
- ✓ Conocimiento de la técnica.

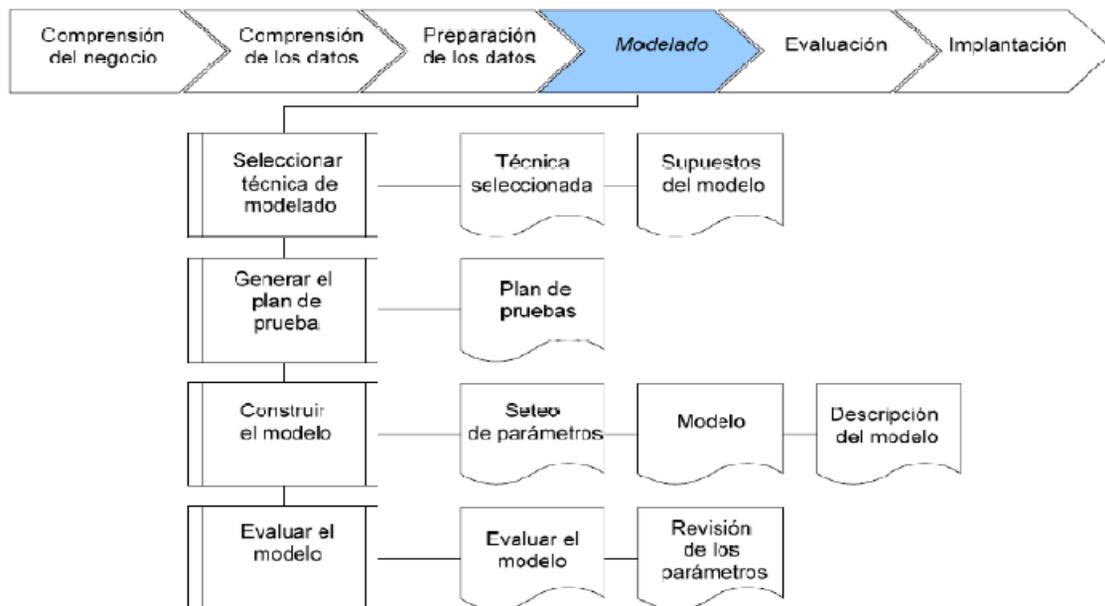


Imagen No. 4.8. Fase de modelado ([CRISP-DM, 2000]).

Previamente, al modelado de los datos, se debe determinar un método de evaluación de los modelos que permita establecer el grado de bondad de ellos. Después de concluir estas tareas genéricas, se procede a la generación y evaluación del modelo. Los parámetros utilizados en la generación del modelo, dependen de las características de los datos y de las características de precisión que se quieran lograr con el modelo. La imagen 4.8 ilustra las tareas y resultados que se obtienen en esta fase. Una descripción de las principales tareas de esta fase es la siguiente:

Selección de la técnica de modelado. Esta tarea consiste en la selección de la técnica de DM más apropiada al tipo de problema a resolver. Para esta selección, se debe considerar el objetivo principal del proyecto y la relación con las herramientas de DM existentes. Por ejemplo, si el problema es de clasificación, se podrá elegir de entre árboles de decisión, k-nearest neighborhood o razonamiento basado en casos (CBR); si el problema es de predicción, análisis de regresión, redes neuronales; o si el problema es de segmentación, redes neuronales, técnicas de visualización, etc.

Generación del plan de prueba. Una vez construido un modelo, se debe generar un procedimiento destinado a probar la calidad y validez del mismo. Por ejemplo, en una tarea supervisada de DM como la clasificación, es común usar la razón de error como medida de la calidad. Entonces, típicamente se separan los datos en dos conjuntos, uno de entrenamiento y otro de prueba, para luego construir el modelo basado en el conjunto de entrenamiento y medir la calidad del modelo generado con el conjunto de prueba.

Construcción del Modelo. Después de seleccionada la técnica, se ejecuta sobre los datos previamente preparados para generar uno o más modelos. Todas las técnicas de modelado tienen un conjunto de parámetros que determinan las características del

modelo a generar. La selección de los mejores parámetros es un proceso iterativo y se basa exclusivamente en los resultados generados. Estos deben ser interpretados y su rendimiento justificado.

Evaluación del modelo. En esta tarea, los ingenieros de DM interpretan los modelos de acuerdo al conocimiento preexistente del dominio y los criterios de éxito preestablecidos. Expertos en el dominio del problema juzgan los modelos dentro del contexto del dominio y expertos en Data Mining aplican sus propios criterios (seguridad del conjunto de prueba, pérdida o ganancia de tablas, etc...).

4.1.1.6 Fase de evaluación

En esta fase se evalúa el modelo, teniendo en cuenta el cumplimiento de los criterios de éxito del problema. Debe considerarse además, que la fiabilidad calculada para el modelo se aplica solamente para los datos sobre los que se realizó el análisis. Es preciso revisar el proceso, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, para poder repetir algún paso anterior, en el que posiblemente se haya cometido algún error. Considerar que se pueden emplear múltiples herramientas para la interpretación de los resultados. Las matrices de confusión (Edelstein, 1999) son muy empleadas en problemas de clasificación y consiste en una tabla que indica cuantas clasificaciones se han hecho para cada tipo, la diagonal de la tabla representa clasificaciones correctas. Si el modelo generado es válido en función de los criterios de éxito establecidos en la fase anterior, se procede a la explotación del modelo. La imagen 9 detalla las tareas que componen esta fase y los resultados que se deben obtener. Las tareas involucradas en esta fase del proceso son las siguientes:

Evaluación de los resultados. En los pasos de evaluación anteriores, se trataron factores tales como la exactitud y generalidad del modelo generado. Esta tarea involucra la evaluación del modelo en relación a los objetivos del negocio y busca determinar si hay alguna razón de negocio para la cual, el modelo sea deficiente, o si es aconsejable probar el modelo, en un problema real, si el tiempo y las restricciones lo permiten. Además de los resultados directamente relacionados con el objetivo del proyecto, ¿es aconsejable evaluar el modelo en relación a otros objetivos distintos a los planteados?, esto podría revelar información adicional.

Proceso de revisión. El proceso de revisión, se refiere a calificar al proceso entero de DM, a objeto de identificar elementos que pudieran ser mejorados.

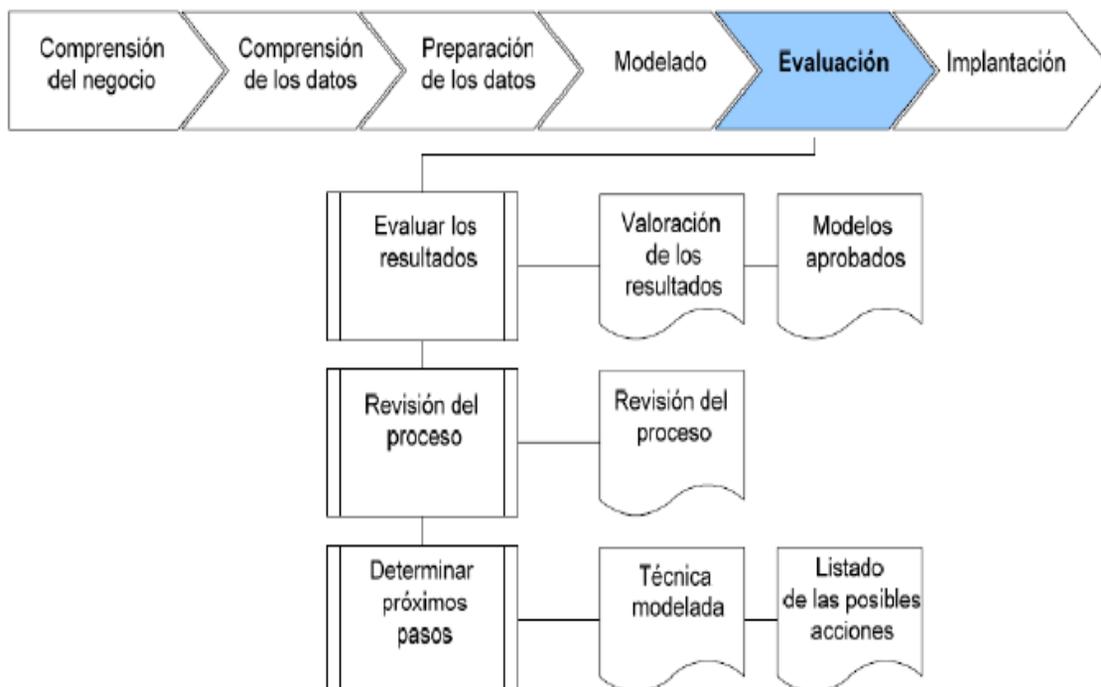


Imagen No.4.9. Fase de evaluación ([CRISP-DM, 2000]).

Determinación de futuras fases. Si se ha determinado que las fases hasta este momento han generado resultados satisfactorios, podría pasarse a la fase siguiente, en caso contrario podría decidirse por otra iteración desde la fase de preparación de datos o de modelación con otros parámetros. Podría ser incluso que en esta fase se decida partir desde cero con un nuevo proyecto de DM.

4.1.1.7 Fase de implementación

En esta fase (Imagen 4.10), y una vez que el modelo ha sido construido y validado, se transforma el conocimiento obtenido en acciones dentro del proceso de negocio, ya sea que el analista recomiende acciones basadas en la observación del modelo y sus resultados, ya sea aplicando el modelo a diferentes conjuntos de datos o como parte del proceso, como por ejemplo, en análisis de riesgo crediticio, detección de fraudes, etc. Generalmente un proyecto de Data Mining no concluye en la implementación del modelo, pues se deben documentar y presentar los resultados de manera comprensible para el usuario, con el objetivo de lograr un incremento del conocimiento.

Por otra parte, en la fase de explotación se debe asegurar el mantenimiento de la aplicación y la posible difusión de los resultados. Las tareas que se ejecutan en esta fase son las siguientes:

Plan de implementación. Para implementar el resultado de DM en la organización, esta tarea toma los resultados de la evaluación y concluye una estrategia para su implementación. Si un procedimiento general se ha identificado para crear el modelo, este procedimiento debe ser documentado para su posterior implementación. Monitorización y Mantenimiento. Si los modelos resultantes del proceso de Data Mining son

implementados en el dominio del problema como parte de la rutina diaria, es aconsejable preparar estrategias de monitorización y mantenimiento para ser aplicadas sobre los modelos. La retroalimentación generada por la monitorización y mantenimiento pueden indicar si el modelo está siendo utilizado apropiadamente.

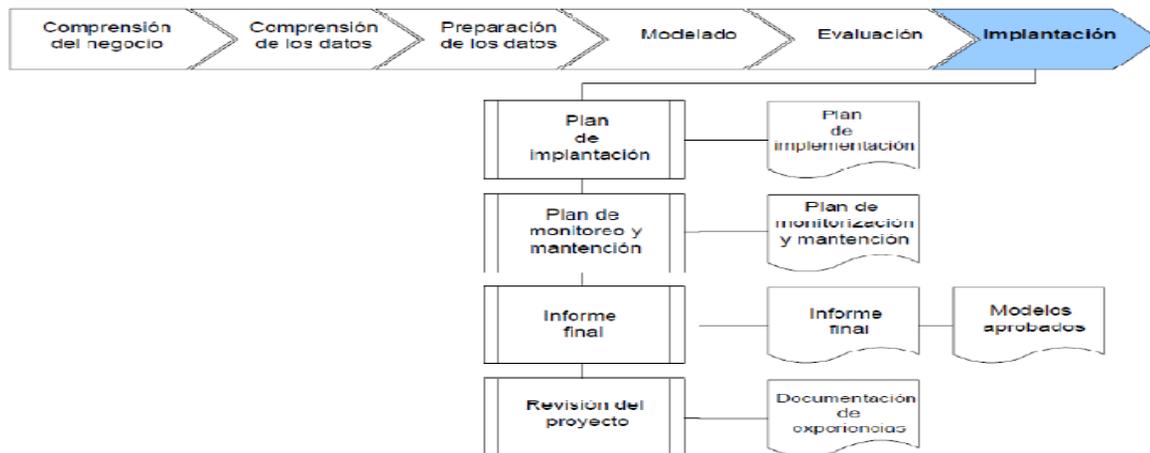


Imagen No.4.10. Fase de implementación ([CRISP-DM, 2000]).

Informe Final. Es la conclusión del proyecto de DM realizado. Dependiendo del plan de implementación, este informe puede ser sólo un resumen de los puntos importantes del proyecto y la experiencia lograda o puede ser una presentación final que incluya y explique los resultados logrados con el proyecto. **Revisión del proyecto:** En este punto se evalúa qué fue lo correcto y qué lo incorrecto, qué es lo que se hizo bien y qué es lo que se requiere mejorar.

5. ANALISIS Y RESULTADOS

5.1 Comprensión y preparación de la base de datos.

Ecopetrol S.A cuenta con una base de datos corporativa donde se guarda toda la información de los pozos desde su creación hasta el abandono definitivo. Para la

compresión y preparación de los datos, se creó una nueva base de datos ad-hoc al proyecto de minería de datos, pues durante el desarrollo del proyecto, se ingresó múltiples veces a la base de datos ad-hoc a objeto de realizar depuración, selección, recodificaciones, consultas y modificaciones. Las depuraciones específicas que se hicieron fueron las siguientes:

1. Se eliminaron los trabajos atípicos de mantenimientos a pozos que no son frecuentes y que rara vez se ejecutan.
2. Se incluyó la variable SIST para clasificar los diferentes tipos de sistemas de levantamiento que más se intervienen en el Campo Casabe.
3. Se agrupo los objetivos principales en veinte (20) tipos de trabajo con el fin de caracterizar la duración en los sistemas de BM y PCP.
4. Se recodificaron los equipos en una variable que los identificara si son directos o tercerizados.
5. Se incluyó la variable PROD la cual identifica la producción de los diferentes pozos a los que se les realizó mantenimiento.

En la siguiente tabla se muestra el nombre de las variables que se obtuvieron en la nueva base de datos:

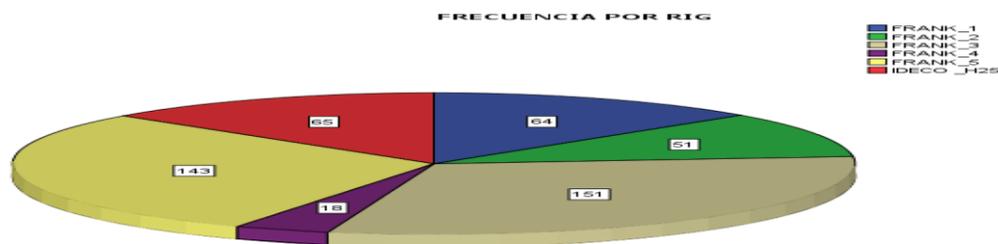
TABLA N.3. VARIABLES DE LA BASE DE DATOS AD-HOC.

PRODUCCIÓN	POZO	SISTEMA	OBJETIVO	CÓDIGO	SUBCÓDIGO	RIG	DURACIÓN	EQUIPO	MES	AÑO
108	CASABE 1099D	CAVIDADES PROGRESIVAS	LIMPIEZA DE ARENA CON DESARENADORA	WELLHEAD	DESINSTALAR PREVENTOR DE ARIETES	FRANK-1	1	DIRECTO	ENERO	2013

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Se dividió el archivo ad-hoc en 2, el archivo 1 tiene la duración total de todos los trabajos ejecutados y el archivo 2 tiene la duración de cada uno de los subcódigos por trabajo ejecutado procesando ciento diecinueve mil (119000) subcódigos de los trabajos finalizados. Filtrando la base de datos 1 para los equipos tercerizados (Frank-3 y Frank-5) y directos (Frank-1, Frank-2, Frank-4 e Ideco H-25) en el campo Casabe, se obtiene la frecuencia de casos por equipo:

GRAFICA N. 2 FRECUENCIA DE CASOS POR EQUIPO



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De la gráfica anterior se analiza que la estrategia de la Gerencia para disminuir la diferida de producción por espera de equipo de varillero o trabajos de subsuelo, se apalancó en la tercerización de 2 equipos (Frank-3 y Frank-5), los cuales doblaron la eficiencia de los equipos directos, es decir que en promedio por mes los tercerizados ejecutaron 6 servicios a pozo y los directos solo 3 servicios.

Para observar la frecuencia de intervención por tipo de sistema de levantamiento artificial, se generó el siguiente gráfico de torta.

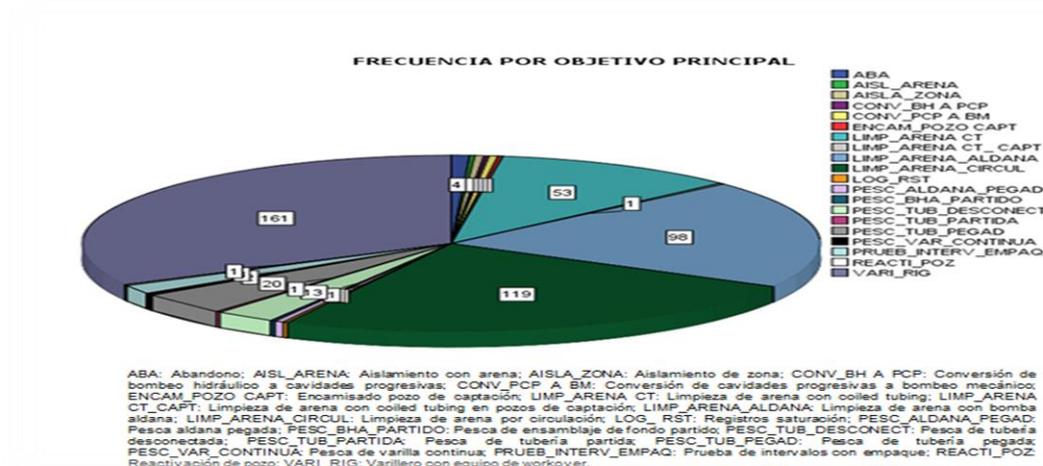
GRAFICA No. 3 FRECUENCIA DE CASOS POR SISTEMA DE LEVANTAMIENTO



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Para el campo Casabe, los dos sistemas de levantamiento artificial que más se intervienen para reparación con equipos de trabajos de subsuelo o varillero es el sistema de cavidades progresivas (PCP) y en segundo lugar está el mecánico (BM). Cabe resaltar que entre el año 2013-2014 se ejecutaron 388 trabajos de reparación en sistema PCP y 94 en BM.

GRAFICA No. 4 FRECUENCIA POR OBJETIVO PRINCIPAL



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De la gráfica N.4 se analiza que el 33% de los servicios a pozo fueron trabajos de varillero con equipo, el 24% corresponden a limpiezas de arena por circulación, el 11% de los servicios a pozo se ejecutaron en limpiezas de arena con bomba desarenadora, el 10% corresponde a limpiezas de arena con coiled tubing dejando el equipo instalado, el 4% a servicios a pozo implicó pesca de tubería pegada, 3% de los trabajos fueron pesca de tubería desconectada y el 1% fueron trabajos de pruebas de intervalos. Dado lo anterior los trabajos en los que debemos enfocar los esfuerzos para intervención están centrados en 4 tipos de objetivo principal (Varillero con equipo, limpieza de arena por circulación, limpieza de arena con bomba desarenadora y limpieza de arena con coiled tubing).

5.2 Modelado de los subcódigos activos.

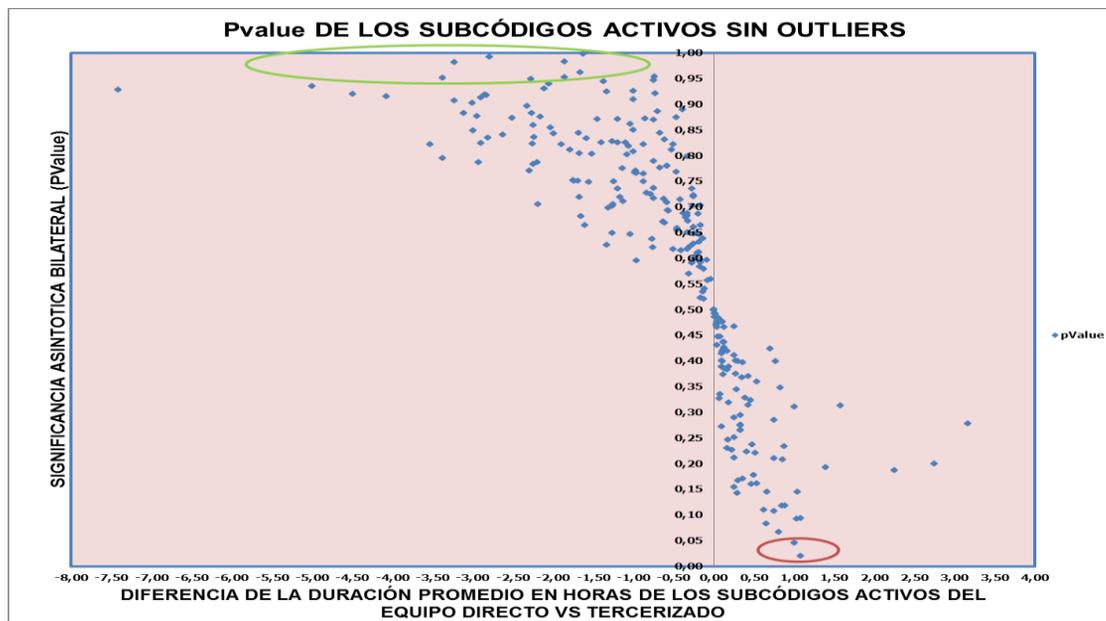
Con la comprensión y preparación de los datos seleccionados se buscó comparar la duración en los subcódigos activos entre los equipos propios y los tercerizados. Esto involucró la aplicación de pruebas estadísticas para comparar la duración de todos los subcódigos activos de los equipos directos y tercerizados en los 4 objetivos principales (LAXC, LAD, LACT y VR), para los sistemas de levantamiento artificial más intervenidos en el campo Casabe (PCP y BM) por los equipos objeto de estudio. En ese orden de ideas se realizaron las siguientes actividades:

1. En una hoja dinámica se calculó el promedio, la desviación estándar, el máximo, el mínimo y la frecuencia de la duración.
2. Con los datos obtenidos en la hoja dinámica se establecieron unos seudolímites de control a 3 desviaciones estándar por encima (máximo esperado) y por debajo de la media (mínimo esperado).

3. Si el dato mínimo o máximo estaban por fuera de los límites de control, se decidió que el subcódigo se clasificara como susceptible a datos extremos u outliers; en caso contrario, el subcódigo se clasificó como “sin outliers”
4. Aquellos subcódigos sin outliers fueron comparados entre tipos de equipo mediante una prueba paramétrica T de student.
5. Para los datos con outliers, se aplicó una prueba no paramétrica U de Mann Whitney.

Con los resultados obtenidos de la significancia asintótica bilateral (p-value) para cada caso y la diferencia del promedio de la duración por subcódigo activo (Promedio de la duración del directo menos el promedio de la duración del tercerizado), se generaron las siguientes graficas:

GRAFICA N. 5. P-value DE LOS SUBCÓDIGOS ACTIVOS SIN OUTLIER.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De la gráfica N.5 se identifican los subcodigos activos que son estadísticamente significativos ($p\text{-value} < 5\%$) y con diferencia en el promedio de la duración de 1 hora en adelante. Para la diferencia de tiempo promedio a favor del equipo tercerizado se encerraron en un ovalo de color rojo y para el equipo directo en un ovalo de color verde. Nótese que en este caso se usaron los $p\text{-values}$ como una métrica que ayudara a identificar las diferencias más altas, y no se interpreta como un valor significativo desde el punto estadístico. Los subcódigos seleccionados que resultan importantes con la métrica del $p\text{-value}$ y que además permitirían ahorros promedio de una hora se detallan en la tabla N.3:

TABLA N. 3. SUBCÓDIGOS SIN OUTLIER A FAVOR DEL TERCERIZADO.

CÓDIGO WELLHEAD A FAVOR DEL EQUIPO TERCERIZADO		
Pvalue	DIFERENCIA DE MEDIAS (HORA)	SUBCÓDIGO
0,02	1,08	Cambio de pipe rams/Preventor anular
0,05	1	Probar preventor de arietes

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De los subcódigos activos sin outlier se identificaron 2 oportunidades de mejora para los equipos directos en las que se deben enfocar estrategias operacionales que disminuyan el tiempo de intervención en aproximadamente 1 hora para cambio de pipe rams y 1 hora para probar preventor de arietes. Lo anterior significa 2 horas menos por pozo que se reflejarían en 1 año en setecientas treinta (730) horas, es decir que en promedio serían 6 trabajos tipo de servicio a pozo con una producción promedio de ciento ocho (108) barriles de petróleo en cada pozo para un total de ochocientos veinticuatro (824) barriles de petróleo promedio año que le aportarían a disminuir la diferida de producción. El flujo de caja para la Gerencia en un año con un costo de levantamiento de diez dólares por

barril (USD 10/Barril, lifting cost actual) y un precio de petróleo de treinta y cinco dólares por barril (USD 35/Barril, precio actual referencia Brent) sería de veinte mil seiscientos dólares al año (USD 20600).

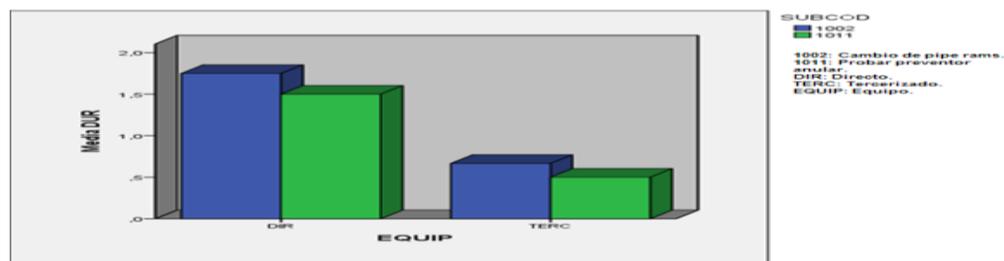
TABLA N.4. SUBCÓDIGOS SIN OUTLIER A FAVOR DEL DIRECTO.

SUBCÓDIGO A FAVOR DEL EQUIPO DIRECTO SIN OUTLIER		
Pvalue	DIFERENCIA DE MEDIAS (HORA)	DESCRIPCIÓN DEL SUBCÓDIGO
1,00	-1,63	Instalar / Desinstalar Barra Lisa y Stuffing Box
0,99	-2,79	Quebrando tubing
0,98	-1,86	Sacando Varillas en dobles
0,98	-3,23	Bajando Tubería de Trabajo en Sencillos
0,96	-1,67	Instalar/Desinstalar Set de BOP` s
0,95	-1,86	Quebrando Drill Pipe a los Racks
0,95	-2,28	Parando Dril pipe/ Calibrando / Midiendo

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De la tabla 4, se observa que los equipos directos poseen una fortaleza de 15 horas de duración menos en estas actividades con respecto a los tercerizados. Aprovechando esa ventaja competitiva para aumentar la eficiencia de los equipos directos, generarían en promedio un ingreso bruto USD 129.600 dólares por la realización en un año de cuarenta y ocho trabajos (48) tipo de limpieza de arena. De forma general se elaboró gráfica de barras para los subcódigos activos con el fin de comparar la duración promedio de los equipos directos versus los tercerizados.

GRAFICA N.6. COMPARACIÓN DE SUBCÓDIGO SIN OUTLIER.



Fuente: Elaboración propia del autor

Para el caso de los datos con outlier, se generó la siguiente grafica donde se encierran en un ovalo de color rojo los subcódigos activos de interés:

GRAFICA N.7. Pvalue DE LOS SUBCÓDIGOS ACTIVOS CON OUTLIER.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Se identifican los subcódigos activos que son estadísticamente significativos ($p\text{-value} < 5\%$) y con diferencia en el promedio de la duración de 1 hora en adelante, estos se encerraron en un ovalo de color rojo y son a favor del equipo directo. Los mismos se detallan en la tabla N.5:

TABLA N.5 IDENTIFICACIÓN DEL SUBCODIGO CON OUTLIER.

CÓDIGO ROUTINE_WORK A FAVOR DEL EQUIPO DIRECTO		
Pvalue	DIFERENCIA DE MEDIANAS (HORA)	DESCRIPCIÓN DEL SUBCÓDIGO
0,02	-1,2	Bajando Tubería de Trabajo en dobles
0,01	-1,4	Sacando Tubería de Producción en dobles.
0,00	-3,6	Bajando Tubería de Producción en Sencillos
0,00	-1,9	Bajando Tubería de Trabajo en Sencillos

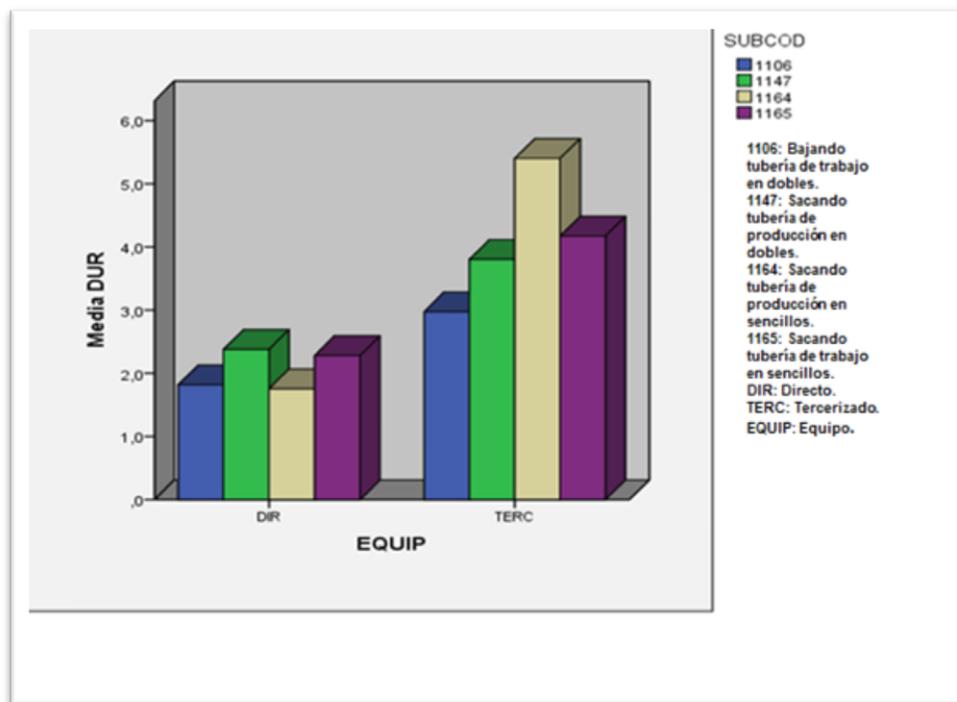
Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

En la gráfica N.7 de los p-value con outlier se identificó fortaleza en la operación de los equipos directos en actividades rutinarias de manejo de tubería de trabajo y producción

los cuales suman en total 8 horas. Si se implementan estrategias operacionales para aumentar la eficiencia total de los equipos, esta ventaja se reflejará en diecisiete (17) trabajos más promedio año de limpieza de arena por circulación y con bomba desarenadora, lo cual generaría una disminución en la diferida de producción de mil ochocientos treinta y seis (1836) barriles de petróleo promedio año, que le aportarían a la Gerencia un flujo de caja positivo de cuarenta y cinco mil novecientos dólares (USD 45.900).

Se elaboró gráfica de barras para los subcódigos activos con el fin de comparar la duración promedio de los equipos directos versus los tercerizados.

GRAFICA N.8. COMPARACIÓN DE SUBCÓDIGO CON OUTLIER.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

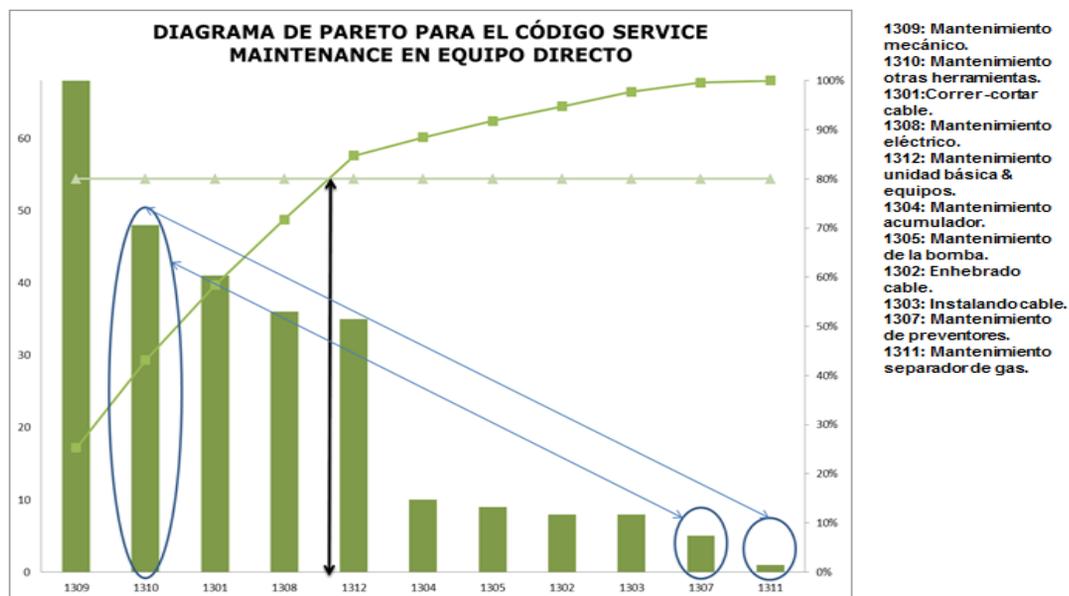
5.3 Códigos inactivos del equipo directo.

Para obtener los resultados de los subcódigos inactivos es necesario revisar individualmente los códigos inactivos, ya que si se agrupan, se esconden oportunidades de mejora para atacar las inactividades que afectan el factor de servicio.

Para los subcódigos inactivos se realizó un diagrama de Pareto (80-20), con el fin de identificar los subcódigos inactivos que generan el 80% de los tiempos que no generan valor, por lo que deben analizarse para plantear las estrategias operacionales de forma integral que se sostengan en el largo plazo.

Por lo anterior, se realizó un Pareto al código denominado en Open Wells service maintenance (1300). A continuación se muestra el resultado:

GRAFICA N. 9. DIAGRAMA DE PARETO CÓDIGO SERVICE MAINTENANCE.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Para este código se clasificaron los subcódigos inactivos para el equipo directo que más afectan el factor de servicio, detectando el 20% de los subcódigos inactivos que generan el 80% del tiempo total acumulado de inactividad operacional que suman en total trecientas diez (310) horas de inactividad durante los años 2013 y 2014, y que a continuación se detallan en la siguiente tabla:

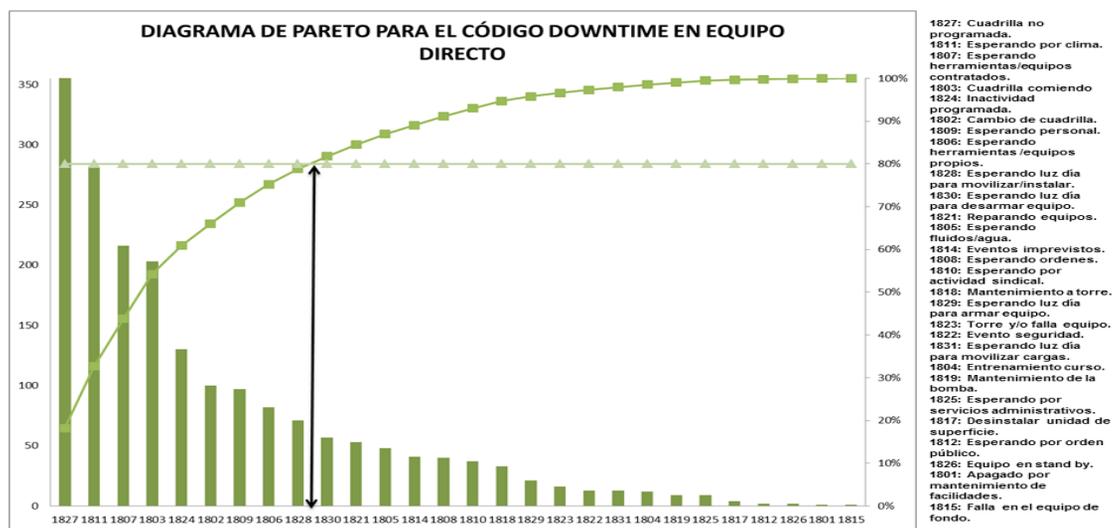
TABLA N.5. CLASIFICACIÓN DE SUBCODIGOS POR PARETO.

CÓDIGO SERVICE MAINTENANCE SELECCIONADO POR PARETO EQUIPO DIRECTO	
RANKING	DESCRIPCIÓN DEL SUBCÓDIGO
1	Mantenimiento Mecánico
2	Mantenimiento Otras Herramientas
3	Correr-Cortar Cable
4	Mantenimiento Eléctrico

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Se realizó un Pareto al código denominado en Open Wells Downtime (1800). A continuación se muestra el resultado:

GRAFICA N.10. PARETO DEL CÓDIGO DOWNTIME.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

En este código se clasificó los subcódigos inactivos que suman en total seis mil novecientos veintiocho (6928) horas de inactividad en los años 2013-2014 y se detalla en la siguiente tabla:

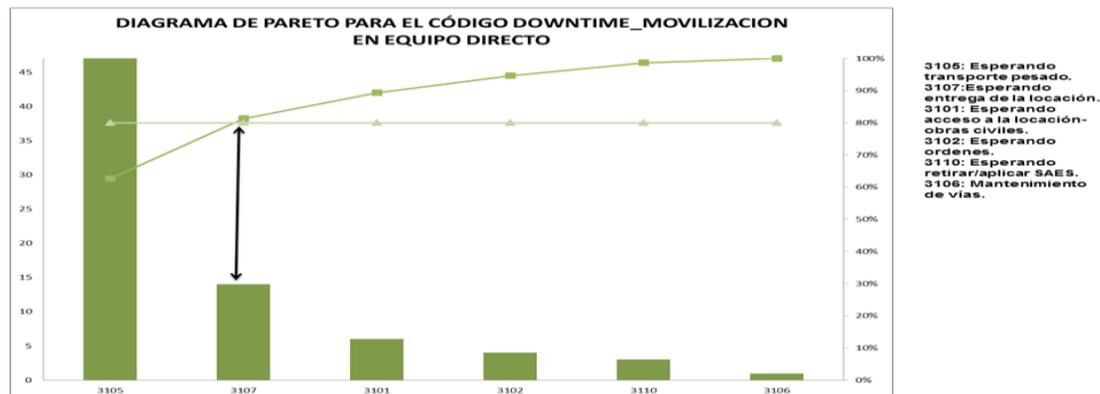
TABLA N. 6. CLASIFICACION DE SUBCÓDIGOS POR PARETO.

CÓDIGO DOWNTIME SELECCIONADO POR PARETO EQUIPO DIRECTO	
RANKING	DESCRIPCIÓN DEL SUBCÓDIGO
1	Cuadrilla no programada
2	Esperando por Clima.
3	Esperando Herramientas/Equipos- Contratista
4	Cuadrilla Comiendo
5	Inactividad Programada
6	Cambio de Cuadrilla
7	Esperando Personal
8	Esperando Herramientas/Equipos/Materiales
9	Esperando Luz Dia para Movilizar/Instalar

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

De igual forma se realizó un Pareto al código denominado en Open Wells Downtime_Movilización (3100). A continuación se muestra el resultado:

GARFICA N.11. DIAGRAMA DE PARETO PARA DOWNTIME_MOVILIZACION.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Este código suma en total en los años 2013 y 2014, doscientas diez (210) horas de inactividad. La siguiente es su clasificación:

TABLA N.7. CLASIFICACION DE SUBCÓDIGOS POR PARETO.

CÓDIGO DOWNTIME_MOVILIZACION SELECCIONADO POR PARETO EQUIPO DIRECTO	
RANKING	DESCRIPCIÓN DEL SUBCÓDIGO
1	Esperando Transporte Pesado
2	Esperando entrega de locación - HANDOVER

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Para los subcódigos inactivos de los equipos directos podemos analizar que el 80% de la inactividad se asocia a disminución de la eficiencia total de los equipos, ya que visto de forma integral el tiempo total perdido por año para los equipos directos en los 4 tipos de trabajo fue de tres mil setecientos veinte cuatro (3724) horas, que representó dejar de hacer treinta y un trabajos menos en un año, que se traducen en tres mil trescientos cincuenta y dos (3352) barriles de petróleo por año. En términos de flujo de caja estos tiempos no productivos generaron un menor ingreso neto de ochenta y tres mil setecientos noventa dólares al año (USD 83.790).

La inactividad promedio total de los equipos directos de la CSR representa el 49% del factor de servicio tradicional (Mantenimiento 13.8%, Operacional 7.8%, Transporte 0.7% y cuadrilla no programada del 26,4%).

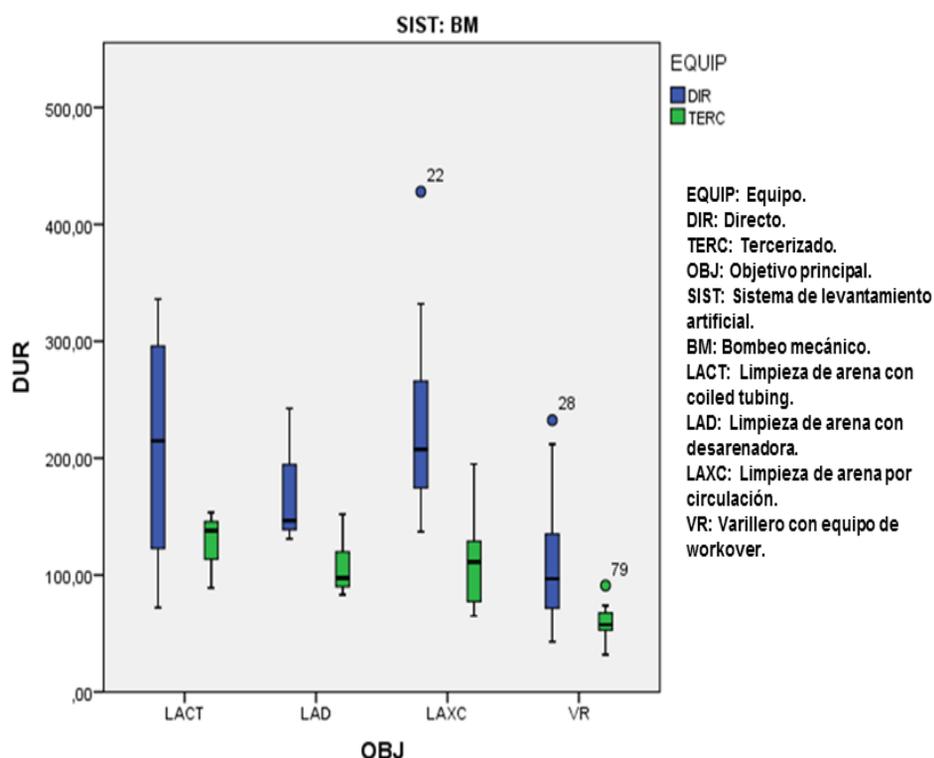
5.4 Propuesta para el factor de servicio.

Parte integral de la investigación de este trabajo, está en proponer un indicador que incluya no solo el factor de servicio tradicional como actualmente se hace en la Gerencia,

sino que involucre el rendimiento y la calidad en los trabajos ejecutados. Lo anterior nos permitirá retornos para mejorar continuamente en pro del aumento en el factor de servicio y que nos lleve a otros niveles para tener indicadores de clase mundo usando el OEE.

Dicho lo anterior para calcular el porcentaje de rendimiento es necesario establecer los mejores tiempos promedios históricos para los 4 principales objetivos (LAXC, LAD, LACT y VR) en los sistemas de BM y PCP para el campo Casabe. Para el sistema de levantamiento artificial por BM, se obtuvo el siguiente grafico de caja y bigotes.

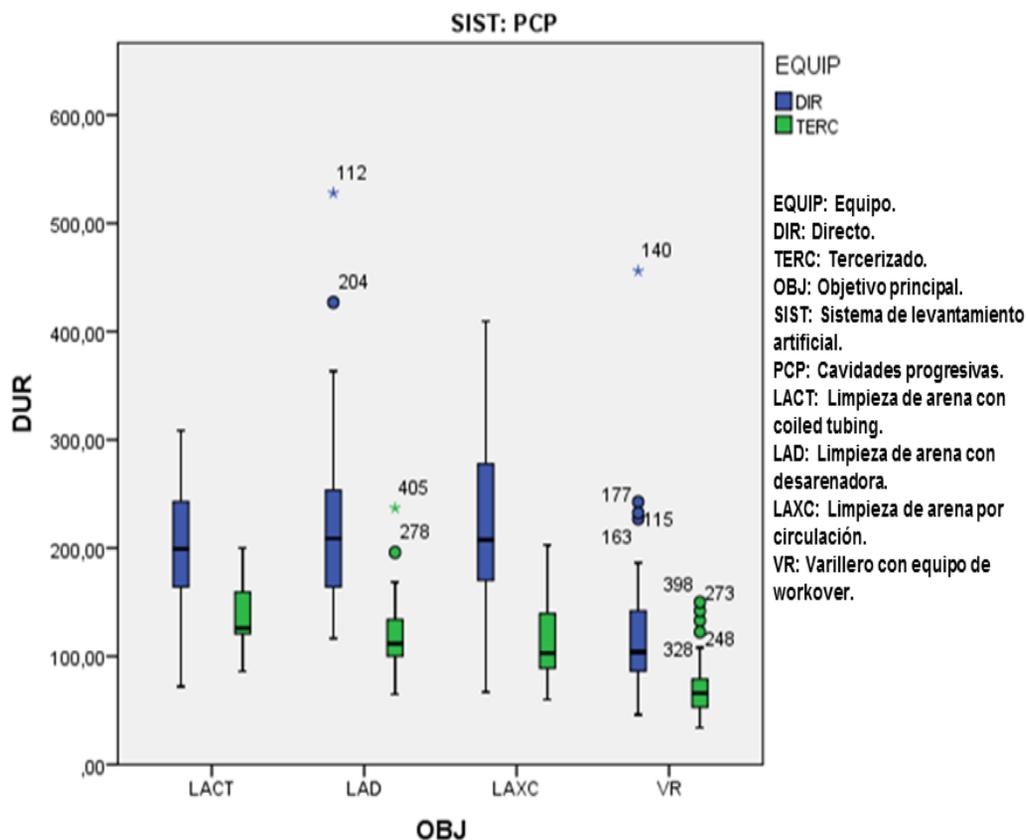
GRAFICO N.12. DIAGRAMA CAJA Y BIGOTES BM TECERIZADOS VS DIRECTOS



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

En el sistema de levantamiento artificial por cavidades progresivas (PCP) se obtiene la siguiente gráfica.

GRAFICO N.13. DIAGRAMA CAJA Y BIGOTES PCP TERCERIZADOS VS DIRECTOS



Fuente: Elaboración propia del autor

Con la información anterior se verificó la calidad de los datos, se efectuaron revisiones de actividades atípicas para determinar la consistencia de los valores individuales de los campos, la cantidad y distribución de los valores nulos, y para encontrar valores fuera de rango, los cuales pueden constituirse en ruido para el proceso de selección de los mejores tiempos promedios de intervención por objetivo principal en los equipos tercerizados. De acuerdo a lo anterior se generó la siguiente tabla.

TABLA N.8. MEJOR TIEMPO PROMEDIO DE SERVICIO A POZO.

SISTEMA	OBJETIVO PRINCIPAL	MEJOR TIEMPO PROMEDIO DE SERVICIO (HORAS)
BOMBEO MECÁNICO	LIMPIEZA DE ARENA CON COILED TUBING	127
	LIMPIEZA DE ARENA CON DESARENADORA	106
	LIMPIEZA DE ARENA POR CIRCULACIÓN	110
	VARILLO CON EQUIPO DE WORKOVER	59
CAVIDADES PROGRESIVAS	LIMPIEZA DE ARENA CON COILED TUBING	136
	LIMPIEZA DE ARENA CON DESARENADORA	117
	LIMPIEZA DE ARENA POR CIRCULACIÓN	114
	VARILLO CON EQUIPO DE WORKOVER	71

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Dado lo anterior, el porcentaje de rendimiento se puede establecer de la siguiente forma.

$$\% \text{ Rendimiento} = \text{MTPS/TTS}$$

Donde,

MTPS (Horas) = Mejor tiempo promedio histórico de servicio a pozo por tipo de objetivo principal.

TTS (Horas) = Tiempo total del servicio a pozo por tipo de objetivo principal.

La calidad del servicio de intervención está determinado por el tiempo total planeado dividido entre el tiempo total del servicio, si es mayor a lo planeado y la causa se atribuye a un error operacional (Falta de planeación del supervisor, incremento de actividades asociadas a errores operacionales o reproceso en el servicio atribuibles a la operación), el porcentaje de calidad disminuye por debajo del 100% y afecta de manera integral el indicador de seguimiento. Este porcentaje de calidad se puede calcular de la siguiente manera.

$$\% \text{ Calidad} = \text{TTPS} / (\text{TTPS} + \text{TAPEO})$$

Donde,

TTPS (Horas) = Tiempo total planeado del servicio a pozo por objetivo principal.

TAPEO (Horas) = Tiempo adicional planeado por error operacional en el servicio a pozo.

La disponibilidad del equipo se reporta como el factor de servicio tradicional de los equipos (FS), el cual se define así:

$$\% FS = \frac{\#EA + \#EI + \#MOV}{\#EA + \#EI + \#MOV + \#NPT}$$

Donde:

#EA (Horas): Equipo activo.

#EI (Horas): Equipo inactivo.

#MOV (Horas): Horas de movilización.

#NPT (Horas): Horas de tiempos no productivos.

En concordancia, la fórmula para el indicador integral de seguimiento al factor de servicio propuesto se puede establecer de la siguiente forma.

OEE= % F.S Tradicional (Disponibilidad)* % Rendimiento * % Calidad

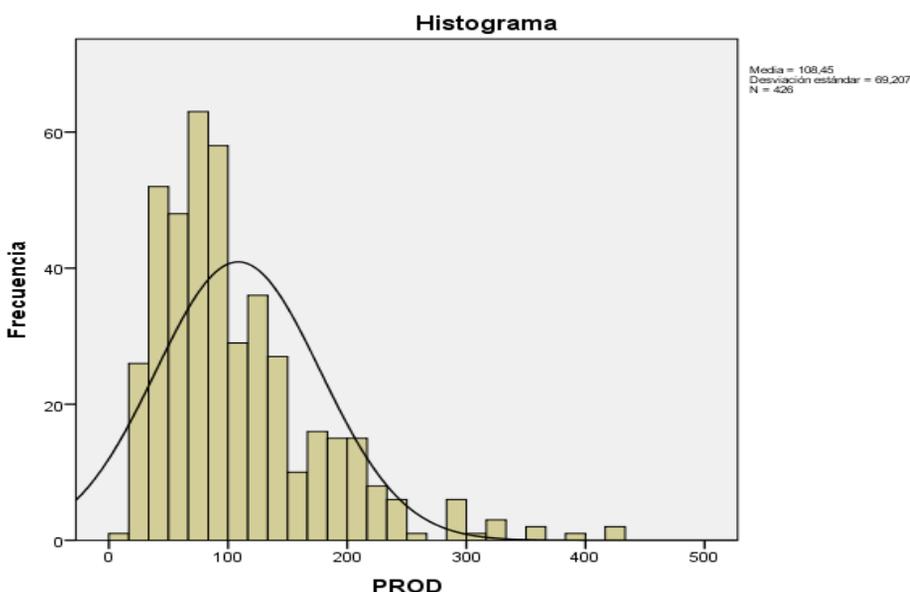
Al realizar el reemplazo tenemos que se puede reescribir así.

$$\text{OEE} = 100 \% * \left(\frac{\#EA + \#EI + \#MOV}{\#EA + \#EI + \#MOV + \#NPT} \right) * (\text{MTPS/TTS}) * (\text{TTPS/TTPS} + \text{TAPEO}).$$

El seguimiento integral a las operaciones permiten intervenir pozos en diferida con una producción promedio por pozo de 108 barriles de petróleo por día, tal y como se muestra

en el siguiente histograma de distribución de la producción de cada uno de los pozos que se les hizo mantenimiento entre los años 2013-2014.

GRAFICA N.14. HISTOGRAMA DE LA PRODUCCIÓN.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

6. ESTRATEGIA OPERACIONAL

6.1 Historia del campo Casabe

El campo Casabe es un campo maduro, situado a 350 Km al norte de Bogotá en medio de la cuenca del valle medio del río Magdalena del departamento de Antioquia. Comenzó su descubrimiento en el año de 1941 y su explotación en 1945. En el año 1970 revirtió a Ecopetrol S.A. con un factor de recobro del 13%, la declinación de la producción era significativa pasando a una producción de 5000 barriles de petróleo por día. Para revertir esta situación, Ecopetrol S.A. inicia en el año de 1985 la inyección de agua para restaurar la presión del yacimiento y disminuir la declinación que pasó desde el año de 1996 en

adelante a 7% por año. En el año 2004 Ecopetrol S.A y Schlumberger forjaron una alianza para revitalizar el campo Casabe que pertenece a la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Rio. Con la aplicación de una serie de inversiones en inyección de agua selectiva, la producción del campo pasó de 5.200 Bopd a 26.000 Bopd en el año 2013, por lo que el factor de recobro estimado pasó de 16% a 24%. Sin embargo este incremento en la producción trajo consigo un reto mayor a nivel de la operación del campo. La diferida de producción de los pozos esperando equipo de subsuelo y varillero, paso a niveles promedio de entre 2000 a 5000 Bopd. Esta espera está asociada a la ineficiencia operacional de los equipos directos que aumenta los tiempos de intervención durante el mantenimiento del pozo. El factor de servicio tradicional promedio para los equipos directos es del 61%, que no es un valor porcentual aceptable a nivel mundial, se debe continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia porcentajes clase mundo. Este porcentaje indica competitividad muy baja y un enorme panorama de oportunidades de mejora, que requieren se revise en detalle y se establezcan estrategias operacionales que aumenten el factor de servicio de los equipos en un 85% a 92% para apalancar las metas de producción de la Gerencia. En la actualidad el campo Casabe tiene una caída de producción fuerte que pasó del año 2015 de 23.000 Bopd a 18.000 Bopd. La meta de producción para este año en la Gerencia es de 19.973 Bopd promedio mes-año con un costo de levantamiento meta de USD 7/Barril.

6.2 Introducción

En los últimos 9 años Ecopetrol experimentó uno de las mayores tasas de crecimiento en producción de petróleo y gas, al pasar de 385.000 barriles de petróleo equivalente por día

en 2006 a 773.000 barriles de petróleo equivalente por día en el primer trimestre del 2015. Esto se logró con una ruta de inversión y expansión, que además permitió una importante generación de valor. El crecimiento, que estuvo acompañado de altas rentabilidades entre los años 2007 y 2013, fue posible en momentos en que las capacidades de la organización lo facilitaron, al tiempo que los precios y el entorno local y global eran favorables. Esto permitió que Ecopetrol lograra mayor relevancia y visibilidad en el ámbito internacional. La dinámica del entorno de negocios, especialmente con el nuevo escenario de precios, la necesidad de consolidar éxitos exploratorios y los desafíos de la sostenibilidad en el largo plazo, plantean nuevos retos para la Empresa. La estrategia corporativa del grupo Ecopetrol es la sostenibilidad y generación de valor, que se basa en la misión que dice:

Trabajamos todos los días para construir un mejor futuro:

- Rentable y sostenible
- Con una operación sana, limpia y segura
- Asegurando la excelencia operacional y la transparencia en cada una de nuestras acciones
- Construyendo relaciones de mutuo beneficio con los grupos de interés

El plan de negocio que acompaña esta nueva estrategia planteó una meta de crecimiento anual en producción del 1%-2%, que se sitúa en línea con los reportados por grandes compañías petroleras internacionales. Lo anterior significa que se estima una producción

del Grupo de 869.000 boed en 2020. En caso de presentarse cambios favorables en las circunstancias de entorno, este crecimiento podrá ser mayor.

Reservas

La sostenibilidad de Ecopetrol se medirá por la capacidad de incorporación de reservas a un ritmo al menos igual que la producción, sumando volúmenes que provendrán de la mejora del factor de recobro y de la exploración. Para lograrlo, Ecopetrol y sus filiales tendrán una relación de reemplazo de reservas de 100%, en el periodo 2015-2020. Esto representa una incorporación de 1.766.000 BOE, que provendrán en su mayoría de la mejora del factor de recobro.

Objetivos

- Contar con un programa integrado de factor de recobro con enfoque en la sostenibilidad de la producción y la maximización de eficiencia de las inversiones en proyectos de producción.
- Lograr una rentabilidad TIR mínima de 23% en dólares.
- Rotar el portafolio de activos con bajo potencial, baja rentabilidad y baja producción.
- Crecimiento anual sostenible de la producción del Grupo de 1%-2%, llegando a 869.000 boed en 2020.

En virtud a lo anterior es de vital importancia alinear los esfuerzos de la Gerencia de operaciones de Desarrollo y Producción del Rio con la estrategia corporativa de Ecopetrol

S.A., con el enfoque de la producción en la generación de valor, apalancando el activo Casabe en Ecopetrol S.A. Las estrategias operacionales que se proponen a continuación buscan aumentar el factor de servicio de los equipos directos para disminuir la diferida de producción por espera de equipo y la generación de valor a través de la eficiencia en las operaciones:

1. Mejorar las operaciones de mantenimiento a pozos para operar los equipos directos de forma más eficiente.
2. Alcanzar la gestión integral y eficaz de las operaciones de mantenimiento a pozos en costos y tiempo desde la planeación hasta la ejecución.
3. Cambiar la cultura operacional y organizacional hacia una orientación participativa, innovadora y colaborativa de las cuadrillas que operan los equipos directos.

Las estrategias que proponemos se apoyan en nuestras fortalezas, que a continuación se muestran en la siguiente imagen:

IMAGEN N. 5 FORTALEZAS DE LAS ESTRATEGIAS OPERACIONALES.



Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

Estas estrategias le apuntan a los siguientes objetivos estratégicos para aumentar el factor de servicio de los equipos directos de la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y producción del Rio:

1. Eliminar los tiempos no productivos en un 49% por mes por equipo.
2. Duplicar el número de trabajos de mantenimiento de pozos para pasar de 3 a 6 intervenciones por mes por equipo.
3. Implementar un indicador de seguimiento integral y eficaz que reemplace el factor de servicio tradicional por uno que relacione directamente la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de los servicios a pozo.

Los objetivos estratégicos de la investigación le apuntan a los siguientes lineamientos estratégicos del grupo empresarial Ecopetrol:

1. Crecimiento rentable
2. Excelencia en las operaciones de la compañía.
3. Intervenir los procesos habilitadores para viabilizar valor y sostenibilidad de la cadena productiva.

7. PLAN TACTICO OPERACIONAL

El plan de acción que se proponen a continuación busca hacer uso eficiente de los recursos con los cuales contamos y distribuirlos de forma adecuada para hacer más con menos, de forma tal que apalanquemos las metas de producción de la Gerencia de forma sostenida y rentable, generando valor al país y a los socios. El plan busca atacar de forma directa los tiempos no productivos y las mejoras en los tiempos de intervención identificados en la investigación para producir barriles rentables y eficientes a través de la intervención de pozos en diferida por espera de equipo en trabajos de subsuelo y varillero,

ya que el campo actualmente no cuenta con equipos contratados y tercerizados por la reducción de los costos operativos. La implementación de este plan de acción le generarán a la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción del Río, trabajando con cuatro equipos, un aumento en el factor de servicio del 92%, lo cual le permitirá realizar 14 trabajos adicionales por equipo al año con un valor agregado de recuperar 142.356 barriles adicionales promedio en el año, proyectando un ingreso neto adicional promedio de USD 1.811.900 dólares por año.

TABLA N. 9 PLAN OPERACIONAL PARA AUMENTAR EL FACTOR DE SERVICIO

PLAN TÁCTICO PARA AUMENTAR EL FACTOR DE SERVICIO DE LOS EQUIPOS DIRECTOS				
OBJETIVO ESTRATEGICO OPERACIONAL	ACCIÓN TÁCTICA OPERACIONAL	COSTO DE LA ACCIÓN EN USD	FECHA DE IMPLEMENTACIÓN	IMPACTO
1	Aumentar la confiabilidad mecánica y eléctrica de los equipos de Workover con sus equipos satélites (Unidad básica, planta estadio, acumulador y bomba mata pozo).	\$600.000	30/06/16	Disminución del 15% en los tiempos no productivos
2	Estandarizar y reponer los preventores de tubería obsoletos para mejorar el tiempo cambiando pipe ram y probando preventor de arietes.	\$200.000	31/07/17	Disminución en 2 horas del tiempo promedio total de intervención a pozo
2	Implementar un programa de ruteo donde involucre la menor distancia a recorrer, la rentabilidad histórica y el potencial de producción del pozo a intervenir para disminuir los tiempos de movilización.	\$50.000	30/08/17	Disminución del 1% en los tiempos no productivos
2	Asignar a cada equipo un brazo articulado montado sobre camión con capacidad de 8 toneladas y carrotanque con capacidad de 80 barriles para aumentar el rendimiento de los trabajos de rutina en boca de pozo.	\$25.000	30/06/16	Disminución en el 7.8% en los tiempos no productivos
1	Establecer una programación de trabajo donde no se interrumpa la continuidad de la operación y se cumpla con lo establecido por la legislación laboral en Colombia.	\$697.000	30/06/16	Disminución en un 49% de los tiempos no productivos.
1	Establecer mínimos y máximos con la bodega de materiales de los repuestos de alta rotación para los equipos directos, como son: cuñas de 2 7/8"- 3 1/2", insertos y dados de la llave hidráulica de tubería y varilla, repuestos para las llaves manuales de tubo, válvulas para las líneas de circulación, repuestos para la preventora de tubería, cables para el malacate principal, químicos, elevadores de tubería, elevadores de varilla, eslingas de cable y eslingas sintéticas.	\$30.000	30/01/17	Disminución del 6% en los tiempos no productivos.
1	Adquirir equipos especiales de detección de tormentas eléctricas y trajes impermeables que le permita al trabajador operar en condiciones de lluvia moderada y leve, excluyendo las lluvias torrenciales.	\$90.000	30/01/17	Disminución del 3% en los tiempos no productivos.
1	Operar con 4/7 equipos de workover para redistribuir el recurso humano. El personal flotante se utilizara para capacitar, entrenar, rotar y realizar mantenimiento preventivo.	\$0	30/04/16	Disminución del 2% en los tiempos no productivos
1	Establecer una rutina preventiva de mantenimiento con los siguientes equipos: Preventoras de tubería y varilla, plato de cuñas, manifold de circulación, llave hidráulica de tubería y los elevadores para tubería.	\$25.000	30/09/29016	Disminución del 4% en los tiempos no productivos.
1	Implementar el uso permanente de la campana con la línea de flujo en los trabajos de limpieza de arena o cambio de fluido por circulación a fin de no pasar fluido arenoso por las válvulas de circulación y la preventora de tubería.	\$5.000	30/04/16	Disminución en un 6% de los costos operativos de la Coordinación.
1	Garantizar bomba Back up en intervención de pozos con PCP y/o tener banco de pruebas en campo.	\$25.000	30/01/17	Disminución del 2% en los tiempos no productivos
3	Reemplazar el factor de servicio tradicional por un factor de servicio propuesto que incluya el indicador de rendimiento y calidad.	\$0	30/06/16	Medición del factor de servicio para lograr el 92%

Fuente: Elaboración propia del autor (2016).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo realizado en este proyecto, se puede concluir lo siguiente:

1. Se debe cambiar la forma de medir el factor de servicio tradicional de los equipos basado en un factor de servicio integral que involucre la métrica del rendimiento y la calidad del servicio a pozo con el fin de retornos a tener eficiencias clase mundo.
2. Los tiempos no productivos de los equipos directos son la principal fuente de ineficiencia en las operaciones, ya que como se demostró en la investigación los equipos directos tienen tiempos activos en promedio superiores en más de 1 hora a los equipos tercerizados, que trabajan 24 horas al día 7 días a la semana.
3. Es necesario establecer un plan de reposición de preventoras de tubería con el fin de estandarizar y poder mejorar en 2 horas la actividad de cambiar pipe rams. Esto es muy importante porque como se determinó en la investigación esta actividad la ejecutan los equipos tercerizados en menor tiempo debido a la sencillez y forma de hacer el cambio de rams.
4. Es importante hacer de la operación directa una ventaja competitiva para dar mayor uso y productividad a los equipos propios que posee la Gerencia de operaciones de Desarrollo y Producción del Rio para apalancar las metas de producción. Ya que en ninguna operadora en el mundo tiene equipos propios y con la actual situación de precios bajos de petróleo, es muy complicado hacer inversiones en equipos contratados para atender pozos productores de petróleo

que se averían y requieren la intervención de un equipo para reestablecer la producción y generar flujo de caja.

5. Implementar el plan de acción propuesto en esta investigación que apalancará el aumento en el factor de servicio del 92%, lo cual permitirá mejorar el rendimiento de los equipos en 14 trabajos adicionales por equipo al año, con un valor agregado de recuperar 142.356 barriles adicionales promedio en el año, proyectando un ingreso neto adicional promedio de USD 1.811.900 dólares por año.
6. La inactividad promedio total de los equipos directos de la CSR representa el 49% del factor de servicio tradicional (Mantenimiento 13.8%, Operacional 7.8%, Transporte 0.7% y cuadrilla no programada del 26,4%).
7. Los equipos directos poseen una ventaja competitiva en los trabajos de limpieza de arena de menos 15 horas en promedio por intervención, que al aumentar la eficiencia, generarían en promedio un ingreso bruto USD 129.600 dólares por la realización en un año de cuarenta y ocho trabajos (48) tipo de limpieza de arena.
8. Con la implementación del factor de servicio propuesto es posible identificar si lo que falta hasta el 100% se ha perdido por disponibilidad (la maquinaria estuvo cierto tiempo parada), rendimiento (la maquinaria estuvo funcionando a menos de su capacidad total) o calidad (se han producido unidades defectuosas).

9. REFERENCIAS

Ahmad, M. and Benson, R. (1999), *Benchmarking in the Process Industries*, ISBN: 0852954115, IChemE, Rugby.

Ahmad, M. and Dhafr, N. (2002), "Establishing and improving manufacturing performance measures", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Journal*, Vol. 18 Nos 3-4, pp. 171-6.

Ahmad, M. and Dhafr, N. (2003), "Measuring manufacturing performance of process plants". *Manufacturing, FAIM 2003*, University of South Florida, Tampa, FL, July 12-14, pp. 570-8.

Ahmad, M., Dhafr, N. and Benson, R. (2004), "Theoretical targets for performance of manufacturing shop floor operations", *FAIM2004*, Toronto, July 12-14.

Anvari, F., Edwards, R. and Andrew, S. (2010), "Evaluation of overall equipment effectiveness based on market", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 16 No. 3, pp. 256-70.

Arnold, K. and Stewart, M. (1998-1999), *Surface Production Operation*, ISBN: 0750678534, 3rd ed., Tex. Gulf Pub. Co, Houston, TX.

Blikra, H., Andersen, R. and Hoset, H. (2002), “Cost-effective subsea drilling operation on the smallest Norwegian field development’, Schlumberger Drilling and Measurements”.

Dal, B., Tugwell, P. and Greatbanks, R. (2006), “Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement”, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 18 No. 5, pp. 1488-502.

Ga’bor, T. (1999), Electrical Submersible Pumps Manual: Design, Operations, and Maintenance, ISBN: 185617557X, Gulf Professional, Burlington.

Jeong, K. and Phillips, D. (2001), “Operational efficiency and effectiveness measurement”, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21 No. 1, pp. 1404-16.

Ken and Stewart, M. (1987), Surface Operations in Petroleum Production, ISBN: 0444426779, Elsevier, Burlington.

Metodología para el desarrollo de proyectos en minería de datos crisp-dm. EBP 603 Sistemas del Conocimiento (2010). Basado en la tesis de: “Metodología para la definición de requisitos en proyectos de Data Mining ER-DM” de José Alberto Gallardo Arancibia.

Nakajima, S. and Ga’bor, T. (1988), Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, ISBN: 0915299232, Productivity Press, Cambridge.

Proceedings of the 13th International Conference on Flexible Automation & Intelligent.

Sonatrach, R. and Forage, D. (2007), "Drilling performance management system", Working Paper No. 11099, International Petroleum Technology Conference, Society of Petroleum Engineer, Dubai, December 4-6.

Spoerker, H.F. and Doschek, M. (2005), "Performance drilling onshore Iran – introducing new concepts to a mature area", Working Paper No. 91892, Society of Petroleum Engineer, Amsterdam, February 23-25.

Working Paper, No. 74508, Drilling Conference, Society of Petroleum Engineer, TX, 26-28 February.