

**VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO LOCATIVO Y DE
SEGURIDAD EN POZOS PETROLEROS A TRAVÉS DE UNIDADES FAST-
MOVING**

JOSEPH JUSCELINO BADILLO SANTODOMINGO

ÁLVARO FABIÁN MUÑOZ RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS

BUCARAMANGA

2015



**VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO LOCATIVO Y DE
SEGURIDAD EN POZOS PETROLEROS A TRAVÉS DE UNIDADES FAST-
MOVING**

JOSEPH JUSCELINO BADILLO SANTODOMINGO

ÁLVARO FABIÁN MUÑOZ RODRÍGUEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS**

Director

PAOLA ANDREA BOHORQUEZ

INGENIERA AMBIENTAL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto de grado expresan sus sinceros agradecimientos a:

A Dios por cada día de vida, por guiarnos durante cada paso de este camino y permitirnos culminar con éxito esta nueva etapa de nuestras vidas.

A la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS por crear este espacio para compartir conocimientos y experiencias, reflexionar y ampliar nuestra visión de la industria y por darnos la oportunidad de seguir creciendo como personas y profesionales.

Al equipo de trabajo de Subsuelo de la Cira-Infantas, por sus aportes y enseñanzas tan enriquecedores, no solo en el desarrollo de este trabajo de grado, sino durante todo momento de nuestra formación como Especialistas

A J'S Servipetrol Ltda. por haber compartido con nosotros su conocimiento y experiencia en la industria, así como en el campo de las unidades fast-moving para el desarrollo de este proyecto.

Al grupo de estudiantes y docentes de la IX promoción de la Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, por haber hecho de cada clase una experiencia inolvidable, por todo lo que pudimos aprender de cada uno de ustedes y por terminar este curso con muchos nuevos amigos.

DEDICATORIA

A toda mi familia, en especial a mis padres, quienes han sido mi mayor motivo de orgullo y mi ejemplo a seguir en la vida, por enseñarme que con esfuerzo y determinación se pueden alcanzar todas las metas.

A Lauren, por estar a mi lado a cada instante y por ser esa fuente inagotable de motivación, comprensión y apoyo incondicional, tan importantes para la terminación de este proyecto.

A mis amigos, que siempre han tenido confianza en mí y que como una segunda familia se han alegrado con cada uno de mis logros.

Álvaro Fabián

DEDICATORIA

A mi esposa, que es la alegría y el complemento de mi vida.

A mis padres, cuyo ejemplo me inspira y enorgullece.

A mis hermanas, que las amo con todo mi corazón.

Y a toda mi familia y amigos que han sido un apoyo constante en mi proceso de formación.

Gracias

Joseph Badillo

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES SOBRE EL <i>WORKOVER</i> Y UNIDADES CONVENCIONALES	19
1.1. OPERACIONES DE <i>WORKOVER</i>	19
1.1.1. Trabajos de <i>workover</i> menores	20
1.1.2. Trabajos de <i>workover</i> mayores	21
1.1.3. Actividades de <i>workover</i>	21
1.2. PANORAMA DEL <i>WORKOVER</i> EN COLOMBIA	22
1.3. EQUIPOS DE OPERACIÓN DE <i>WORKOVER</i>	23
1.3.1. Descripción del equipo	24
1.3.2. Lista de precios estándar de equipos convencionales	33
1.4. EQUIPOS LOCATIVOS.....	33
1.4.1. Descripción.....	34
1.4.2. Lista de precios estándar	35
1.5. METODOLOGÍA DE IZAJE Y TRANSPORTE	36
2. UNIDADES FAST-MOVING	42
2.1. GENERALIDADES.....	42
2.2. UNIDADES FAST-MOVING LOCATIVAS	44
2.2.1. Descripción.....	44
2.2.2. Lista de precios estándar	46
2.3. UNIDADES FAST-MOVING EN OPERACIONES DE <i>WORKOVER</i>	47
2.3.1. Descripción.....	47

2.3.2. Lista de precios estándar de equipos fast-moving	48
2.4. METODOLOGÍA DE IZAJE Y TRANSPORTE	49
3. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS UNIDADES <i>FAST MOVING</i>	52
3.1. DISEÑO.....	53
3.1.1. Factores Implicados	53
3.1.2. Diseño Matricial.....	65
3.2. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA	65
3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RIESGOS DE LOS SISTEMAS <i>FAST-MOVING</i> CONTRA SISTEMAS CONVENCIONALES	72
4.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	72
4.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS	73
4.2.1. Determinación del Nivel de Deficiencia	76
4.2.2. Estimación del Nivel de Exposición (NE) del Puesto de Trabajo a la Situación de Riesgo.....	79
4.2.3. Determinación del Nivel de Probabilidad (NP)	81
4.2.4. Determinación del Nivel de Consecuencias (NC).....	82
4.2.5. Determinación del Nivel de Riesgo (NR).....	84
5. CONCLUSIONES.....	88
6. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Layout de equipos de <i>workover</i> en pozo.....	24
Figura 2. Workover Rig.....	25
Figura 3. Subestructura	26
Figura 4. Bomba de lodos de tres pistones (triplex)	27
Figura 5. Tanque de lodos	28
Figura 6. Frac Tank	28
Figura 7. Planta eléctrica	29
Figura 8. <i>Power Swivel</i>	30
Figura 9. Acumulador de presión	31
Figura 10. Conjunto de preventoras. Arriba preventora anular y abajo preventora de arietes	32
Figura 11. <i>Trailer</i> o caseta tipo dormitorio convencional.	34
Figura 12. Carro Macho petrolero.	37
Figura 13. Camión Grúa	37
Figura 14. Cama alta (izquierda) y Cama baja (derecha).....	38
Figura 15. Ilustración metodología de izaje y transporte para una unidad locativa convencional.....	40
Figura 16. Equipo de <i>fast-moving</i>	43
Figura 17. trailer de soporte para <i>fast-moving</i> y Caseta adaptada al sistema <i>fast-moving</i>	45
Figura 18. Caseta tipo <i>fast-move</i> enganchada al cabezote y lista para ser movilizada. ...	45
Figura 19. <i>Choke Manifold</i> y <i>Poor Boy</i> acoplados.....	48
Figura 20. Proceso de enganche de un <i>trailer</i> tipo <i>fast-moving</i>	50
Figura 21. Cluster base de producción	54
Figura 22. Determinación del <i>Payback</i> (Experimento 1)	68
Figura 23. Diferencias entre VPN para diferentes experimentos.....	70
Figura 24. <i>Paybacks</i> vs. Escenario para ambos proyectos.	70
Figura 25. Diferencia entre TIR para diferentes experimentos	71
Figura 26. Malas Prácticas de Cargue y Descargue en Sistemas Convencionales.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de venta de unidades de <i>workover</i> convencional.....	33
Tabla 2. Lista de precios alquiler y venta de unidades móviles.....	35
Tabla 3. Tiempo promedio de cargue y descargue de unidades de <i>workover</i> convencional.....	41
Tabla 4. Lista de precios alquiler y venta unidades móviles tipo <i>fast-moving</i>	46
Tabla 5. Lista de precios de venta de unidades de <i>workover</i> tipo <i>fast-moving</i>	49
Tabla 6. Tiempo promedio de cargue y descargue de unidades de <i>workover</i> mediante el sistema <i>fast-moving</i>	51
Tabla 7. Cronograma de Operaciones de <i>workover</i> para el <i>Cluster</i>	55
Tabla 8. Descripción Unidades de Sistemas Convencionales y <i>Fast-moving</i>	57
Tabla 9. Equipos Mínimos Necesarios para Izaje y transporte.....	58
Tabla 10. Inversión inicial para el sistema convencional.....	60
. Tabla 11. Inversión inicial para el sistema <i>fast-moving</i>	61
Tabla 12. Costos de arrendamiento de unidades locativas para el sistema convencional	62
Tabla 13. Costos de arrendamiento de unidades locativas para el sistema <i>fast-moving</i> ..	63
Tabla 14. Costos de arrendamiento para izaje del sistema convencional.....	64
Tabla 15. Costos de arrendamiento para izaje del sistema <i>fast-moving</i>	64
Tabla 16. Diseño matricial de situaciones a evaluar	65
Tabla 17. Resultados indicadores económicos sistema convencional y <i>fast-moving</i>	69
Tabla 18. Identificación de riesgos para sistemas convencionales	75
Tabla 19. Identificación de Riesgos para Sistemas <i>Fast Moving</i>	76
Tabla 20. Determinación del Nivel de Deficiencia (ND).....	77
Tabla 21. Determinación del nivel de Deficiencia para el Sistema Convencional.....	78
Tabla 22. Determinación del nivel de Deficiencia para el Sistema <i>Fast Moving</i>	78
Tabla 23. Determinación del Nivel de Exposición (NE)	79
Tabla 24. Determinación del Nivel de Exposición para Sistemas Convencionales.....	80
Tabla 25. Determinación del Nivel de Exposición para Sistemas <i>Fast Moving</i>	80
Tabla 26. Determinación del Nivel de Probabilidad (NP).....	81
Tabla 27. Cálculo del Nivel de Probabilidad para Sistema Convencional.....	82
Tabla 28. Cálculo del Nivel de Probabilidad para Sistema <i>Fast Moving</i>	82
Tabla 29. Determinación del Nivel de Consecuencia (NC).....	83

Tabla 30. Determinación del Nivel de Consecuencia (NC) para Sistemas Convencional.	83
Tabla 31 Determinación del Nivel de Consecuencia (NC) para Sistemas <i>Fast Moving</i>	84
Tabla 32. Significado de Niveles de Intervención de Riesgo.	85
Tabla 33. Determinación del Nivel de Riesgos (NR)	85
Tabla 34. Riesgo Total para Sistemas Convencionales	86
Tabla 35. Riesgo total para sistemas <i>fast-moving</i>	87

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. LAYOUT DE UN POZO DE <i>WORKOVER</i> CONVENCIONAL.	93
ANEXO B. LAYOUT DE UN POZO DE <i>WORKOVER</i> CON EQUIPOS TIPOS <i>FAST-MOVING</i>	94
ANEXO C. CALCULO DE LOS TIEMPOS NO OPERATIVOS POR SISTEMA.....	95

RESUMEN

TÍTULO: VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO LOCATIVO Y DE SEGURIDAD EN POZOS PETROLEROS A TRAVÉS DE UNIDADES *FAST-MOVING**.

AUTORES: JOSEPH JUSCELINO BADILLO SANTODOMINGO, ÁLVARO FABIÁN MUÑOZ RODRÍGUEZ**.

PALABRAS CLAVES: *Workover*, *Fast Moving*, Optimización de Operaciones, *Well-Services*, Unidades Locativas, Análisis de Riesgos, Análisis Financiero

DESCRIPCIÓN:

En la industria del petróleo ciertas operaciones como actividades de perforación y *workover* se realizan en zonas tan diversas como la geografía del terreno colombiano, lo que significa que en muchos casos las zonas de interés se encuentran en terrenos de difícil acceso y espacios reducidos. Por este motivo la optimización en actividades de movilización y distribución de equipos juega un papel importante, aunque en varios pozos del país esta logística suele ser pasada por alto. La implementación de alternativas como los equipos *fast-moving* puede producir beneficios considerables con respecto a unidades convencionales. Estos equipos reducen el número de cargas de manera significativa generando por consiguiente un sinnúmero de beneficios a corto y largo plazo en diferentes niveles y magnitudes.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnico-económica de la implementación de unidades *fast-moving*, partiendo del hecho que una reducción de tiempos en operaciones de *workover*, reduce los tiempos no productivos del pozo, así incrementando su producción. Para esto se diseñó un *layout* para un sistema convencional y un *layout* para el sistema *fast-moving*, en el cual las unidades de carga y descarga al igual que las unidades locativas hacían parte de los gastos diarios del pozo, mientras que las unidades de *workover* eran un gasto de capital inicial. Mediante una evaluación de 9 escenarios de producción (determinados mediante diseño experimental), se comprobó que el sistema *fast-moving* es económicamente más rentable que un sistema convencional, en un periodo de evaluación de 3 años.

Igualmente se determinó el panorama de riesgos mediante la norma NTP 330, el cual permitió concluir que los sistemas *fast-moving* disminuyen los riesgos generales de la operación de carga en aproximadamente un 62% frente a los sistemas convencionales.

* Monografía de Especialización.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Directora Ing. Paola Bohorquez

ABSTRACT

TITLE: LOCATIVE AND SAFETY IMPROVEMENT BY FAST MOVING UNITS: A TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY*.

AUTHORS: JOSEPH JUSCELINO BADILLO SANTODOMINGO, ÁLVARO FABIÁN MUÑOZ RODRÍGUEZ**.

KEY WORDS: Workover, Fast Moving, Operations Optimization, Well-Services, Locative Units, Risk Assessment, Finances Assessment

DESCRIPTION:

In Oil industry, certain drilling and workover operations are done in such diverse zones as Colombian geography, which implies in many cases, having interest zones in almost inaccessible and reduced locations. For that reason, the optimization of mobilization and distribution of units is really important for Oil Industry, although in many drills along the country side it is ignored. The implementation of fast moving units as an alternative, can produce considerable benefits in comparison to conventional units. These units reduce the number of charges significantly generating endless benefits in short and long term, in different levels and magnitudes.

The main propose of this work is evaluate the technical and economic feasibility study of the implementation of fast moving units, having into account a reduction of movement times in workover operations necessarily implies a reducing of non-productive times and a posterior increase in well production. In order to accomplish this, two layouts were design, one for a conventional system and another for a fast moving system, in which the transport units and the locative units were part of system daily expenses, while the workover units were an initial capital expense. By a nine-scenario financial evaluation (determined by experimental design), the fast-moving system was proved more beneficial economically than a conventional system, in a 3-years evaluation period.

On the other hand, risk assessment was determined by means of the NTP 330 form, and this assessment allow to conclude a reduction of general risks of the system in a 62%, of the fast-moving systems in comparison to the traditional ones.

* Specialization Monograph.

** Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Director Paola Bohorquez B.Sc.

INTRODUCCIÓN

En la industria del petróleo ciertas operaciones como actividades de perforación y *workover* se realizan en zonas tan diversas como la geografía del terreno colombiano, lo que significa que en muchos casos las zonas de interés se encuentran en terrenos de difícil acceso y espacios reducidos lo que dificulta la entrada y salida de equipos y herramientas necesarias para realizar dichas operaciones. Por este motivo la optimización en actividades de movilización y distribución de equipos juega un papel importante, aunque en varios pozos del país esta logística suele ser pasada por alto. La gran cantidad de equipos para movilizar, las complejas operaciones de izaje y montaje de cargas, la gran cantidad de vehículos necesarios para llevarlas a cabo, los riesgos industriales asociados y el trabajo en espacios confinados, en muchas ocasiones representan grandes problemas para las empresas lo que se traduce desde pérdidas de dinero, aumento de tiempos improductivos, hasta incidentes de tipo operacional, por lo que la búsqueda de alternativas que optimicen estos procesos es inminente.

La implementación de alternativas como los equipos *fast-moving* puede producir beneficios considerables con respecto a unidades convencionales. Estos equipos reducen el número de cargas de manera significativa generando por consiguiente un sinnúmero de beneficios a corto y largo plazo en diferentes niveles y magnitudes. Las unidades equipadas con este sistema reducen en gran manera el tiempo de movilización traduciéndose esto en una reducción en tiempos de *stand-by* y un aumento consiguiente de tiempos productivos, lo que representa beneficios económicos a las empresas. Asimismo, varios tipos de unidades pueden ser agrupadas en un solo sistema lo que reduce el número de cargas y de vehículos necesarios para el transporte, al tiempo que disminuye su deterioro por manipulación. Por último, todo esto trae consigo una disminución de los riesgos

industriales generando un aumento en la seguridad para el capital humano y los equipos en cuestión.

Es el objetivo de este documento el de analizar la viabilidad técnico-económica del uso de unidades *fast-moving* en operaciones de *workover* como mejoramiento de los procesos de movilización y optimización locativa, además de evaluar la disminución en los riesgos laborales debido al uso de estos equipos. Para lograr esto, el trabajo es dividido en cuatro capítulos. El capítulo uno busca realizar una recopilación de la información básica de las locaciones y equipos de *workover* convencionales además de presentar un panorama actual de la situación colombiana en estos aspectos. El capítulo dos se centra en describir las unidades de tipo *fast-moving* y describe de manera detallada los arreglos que aportan beneficios tanto en disminuciones en tiempos de movilización como en la optimización del espacio en la locación. El capítulo tres, como núcleo central del documento, describe el análisis técnico-económico de la implementación de equipos *fast-moving* en una locación de *workover* mayor y presenta los resultados y comparaciones pertinentes. El capítulo cuatro, utiliza el procedimiento descrito en la norma NTP 330 para realizar la valoración de riesgos de los sistemas convencionales y *fast-moving* con el fin de demostrar lo dicho anteriormente.

1. GENERALIDADES SOBRE EL *WORKOVER* Y UNIDADES CONVENCIONALES

1.1. OPERACIONES DE *WORKOVER*

Cualquier intervención llevada a cabo en un pozo de petróleo, después del proceso de perforación y completamiento inicial, es conocido como *workover*¹. Dicho de otra manera, el *workover* puede definirse como cualquier intervención o “trabajo” realizado en un pozo con el fin de mantener o aumentar el índice de productividad (IP) o índice de inyectividad (en el caso de pozos inyectoros).

Esta operación también conocida como reacondicionamiento de pozos suele situarse como la operación intermedia entre las etapas de perforación y producción como el proceso de preparación de un pozo para ser puesto a producir, sin embargo un *workover* puede realizarse a un pozo previamente produciendo con el fin de evitar o reparar problemas que puedan disminuir la productividad o con el fin de aumentarla (como se indicó anteriormente). Por este motivo un trabajo de *workover* puede involucrar una gran cantidad de operaciones; desde la simple reparación de problemas mecánicos como fugas u obstrucciones en tuberías o revestimientos, reparación de equipos en fondo, cambios en el estado mecánico del pozo como el reemplazo total del sistema de levantamiento artificial (S.L.A), cierre de zonas agotadas y apertura de nuevas zonas de producción, hasta procesos de acidificación y fracturamiento (Incremento del IP).

¹ FILIZZOLA ARZUAGA, Rosa Paulina. “Análisis probabilístico de los tiempos de operación de los equipos de *workover* y varilleo del campo casabe para optimizar el factor de servicio utilizando la herramienta openwells”. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2011.

De esta manera, de acuerdo al problema que se presente en el pozo y a la forma en que va a ser reparado, los trabajos de *workover* se pueden dividir en trabajos de *workover* menores y trabajos de *workover* mayores².

1.1.1. Trabajos de *workover* menores

Conocidos también como actividades de *Well Services*, son el tipo de trabajo con mayor aplicación en la industria petrolera. Se centran principalmente en dar solución a los problemas mecánicos del pozo, ya sean fugas en tuberías de producción o empaques; comunicación de zonas de cara del pozo en completamientos múltiples, fallas en los equipos y herramientas de subsuelo, limpieza de arena, remoción de parafinas y lavado de perforaciones, y todos aquellos trabajos que no requieran un cambio en el estado mecánico del pozo.

La principal característica de estos trabajos de *Well Services*, es que pueden ser realizados con equipos convencionales los cuales tienen como características ser de rápida movilización, tener facilidad de operación, poseer sistemas hidráulicos de elevación y otras condiciones de diseño que permiten realizar casi cualquier clase de estos trabajos en la locación.

Por otra parte, para operaciones especiales existen a su vez equipos especializados que permiten llevarlas a cabo, como equipos de cementación, unidades de registros, unidades de cementación forzada (*Squeeze*), *Slick Line* y *Coiled Tubing*.

² BOHORQUEZ, Oscar; CADENA, Martha. “Metodología para la evaluación de riesgos durante operaciones de *workover* y servicio a pozos”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2011.

1.1.2. Trabajos de *workover* mayores

El objetivo principal de este tipo de operaciones es principalmente el de incrementar la producción del pozo ya sea mediante estimulaciones o intervenciones en las zonas productoras con el fin de aumentar la efectividad con que se producen los fluidos.

Entre estas operaciones pueden nombrarse la apertura de nuevas zonas no perforadas, la estimulación de zonas perforadas de baja productividad, la restauración de la producción en pozos afectados por agotamiento del yacimiento, aislamiento de zonas productoras de agua, incremento de la productividad mediante el aislamiento de zonas con excesiva producción de gas (en pozos de aceite), evaluación del potencial de zonas productoras por medio de completamientos múltiples y todas aquellas operaciones que favorezcan a la producción.

1.1.3. Actividades de *workover*

Dentro de algunas de las actividades del *workover* se encuentran:

- Reparación de revestimiento.
- Cambio de tuberías rotas
- Cementación.
- Lavado de arena y empaquetamiento.
- Cañoneo y/o recañoneo.
- Operaciones de *Swabeo*.
- Acidificación de formaciones.
- Fracturamiento de formaciones.
- Cambios de sistemas de levantamiento artificial (S.L.A).
- Operaciones de pesca.

1.2. PANORAMA DEL WORKOVER EN COLOMBIA

Las operaciones de *workover* y *well services* se llevan a cabo en áreas de características tan diversas como la geografía misma de nuestro país. Si bien es cierto que en décadas recientes se ha buscado que las locaciones de pozos cumplan con un estándar de tamaño y condiciones mínimos para que los equipos tanto de perforación como de reacondicionamiento puedan llevar a cabo sus labores sin mayores inconvenientes, es sabido que no en todos los campos petroleros ha sido posible cumplir con esta intención.

Sin ir muy lejos, se puede observar en los campos del Magdalena Medio limitaciones de tipo locativo, geográfico e incluso social, dependiendo del área donde se encuentren ubicados. El campo Cira Infantas por ejemplo, por tratarse de un campo con más de 90 años de historia, cuenta con algunas locaciones de pozo muy reducidas debido a que los primeros taladros utilizados en la perforación de sus pozos no requerían de grandes espacios, además de la perforación de nuevos pozos en *clusters* también ha dejado espacios muy limitados entre los pozos de una misma locación.

El factor social debe ser también un factor tenido en cuenta al momento de realizar intervenciones en dichos pozos, pues el área circundante de este campo ha sido poblada por habitantes de la región o “colonos”, como se les conoce popularmente, quienes construyen sus viviendas con relativa cercanía a las zonas de actividad.

Los campos de San Roque y Tisquirama en el municipio de San Martín, sur del Cesar, se encuentran ubicados a más de 150 km de su base de operaciones, la cual se encuentra en el corregimiento del Centro, municipio de Barrancabermeja, Santander, por lo que la movilización de equipos y herramientas hacia estos pozos debe ser planificada con sumo cuidado con el fin de realizar la menor cantidad de viajes posibles; de la misma forma la solicitud de materiales adicionales o servicios

especializados (como registros y cañoneos) debe realizarse con suficiente antelación para que estos lleguen a tiempo a los pozos. Finalmente en el campo Cantagallo, en el departamento de Bolívar, la gran mayoría de los pozos se encuentran ubicados como arreglos de “islas” dentro del lecho del río Magdalena, por lo que la movilización de equipos, herramientas, materiales e incluso personal hacia estas áreas debe combinar medios de transporte terrestre y fluvial, lo cual incrementa los costos de la logística y los riesgos de las movilizaciones. La adecuada planificación en estos casos es fundamental.

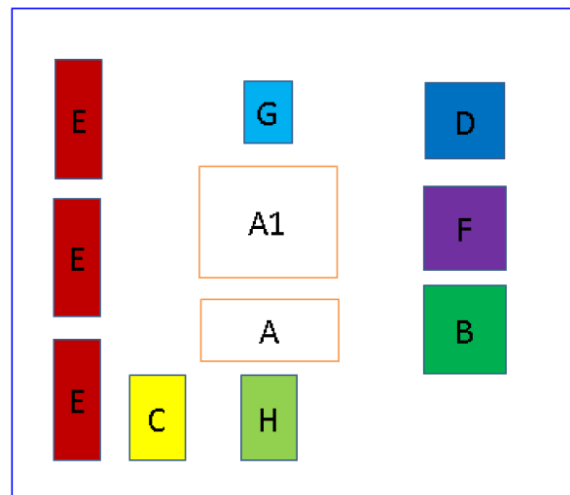
Por lo descrito anteriormente y como es de esperarse, todas las limitaciones afectan frecuentemente el desarrollo de las operaciones de reacondicionamiento de pozos, causando demoras y sobrecostos. A este panorama pueden agregarse todos aquellos factores externos que no pueden ser completamente controlados mediante una planeación efectiva, tales como el clima, orden público, etc., por lo que el desafío a la hora de optimizar recursos y reducir riesgos es sumamente retador.

1.3. EQUIPOS DE OPERACIÓN DE WORKOVER

Como puede inferirse por lo anteriormente descrito, en la realización de las diferentes actividades de mantenimiento y reacondicionamiento de pozos, es necesario contar con todo un conjunto de equipos que permitan realizar labores específicas dentro del sistema de *workover*. Por este motivo el número y la distribución de los equipos en la locación está ligado al tamaño de la misma y a la operación a realizar. Sin embargo un arreglo estándar de los equipos en pozo puede ser como el que se observa en la **Figura 1** o de una manera más detallada como se muestra en el **ANEXO A**.

Figura 1. Layout de equipos de *workover* en pozo

A1: Unidad Básica
 A: Vehículo
 B: Bomba de Lodos
 C: Planta Eléctrica (generador)
 D: Power Swivel
 E: Casetas (Container)
 F: Tanques para fluidos
 G: Subestructura
 H: Acumulador de presión



Fuente: Tomado y modificado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

1.3.1. Descripción del equipo

Los equipos de *workover* son indispensables para la ejecución de las diversas actividades de reacondicionamiento. Dichos equipos se describen a continuación:

Workover Rig³: Es el corazón de todo equipo de Workover o Well Service. Es el encargado de mover hacia adentro y afuera del pozo todas las herramientas y elementos con las que se realizan los trabajos de subsuelo. Está compuesto por un vehículo o cargador autopropulsado, la unidad básica o *drawwork* que incluye la torre del equipo y el sistema de levantamiento de cargas; además del sistema hidráulico y neumático (ver **Figura 2**). El sistema de levantamiento consta del malacate principal y de suabeo, la corona, el bloque viajero y su gancho, y los cables de operación.

³ VERGARA, José. García, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

Figura 2. Workover Rig



Fuente: Tomado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

- **Subestructura:** Es la estructura que debe soportar el peso de la torre con sus cargas además del peso de otros grandes equipos (ver **Figura 3**)

Figura 3. Subestructura



Fuente: Tomado de MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de workover de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

- **Bomba de lodos:** Son encargadas de realizar el ciclo de circulación del lodo desde que lo succionan del tanque respectivo hasta que el fluido retorna del pozo al tanque de succión. Son bombas de desplazamiento positivo recíprocante de tres pistones (*triplex*)³ como la **Figura 4**. Son también bombas de acción sencilla por lo que el pistón desplaza al fluido sólo en su carrera de enfrente, de manera que es necesaria una bomba centrífuga que mantenga las camisas llenas de fluido pues las primeras no generan succión⁴.

⁴ MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de workover de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia

Figura 4. Bomba de lodos de tres pistones (triplex)



Fuente: Tomado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

- **Tanque de lodos⁴:** Los tanques de lodos almacenan los fluidos desalojados del pozo durante las diferentes operaciones de workover (ver **Figura 5**) o los fluidos requeridos para el control de pozo. También suelen haber ciertos tanques de almacenamiento alrededor de la locación (ver **Figura 6**). Existen tres tipos de tanques de lodo:
 - ✓ **Tanque de retorno:** Es el tanque que recibe los fluidos del retorno del pozo, aquí es donde se realiza el primer tratamiento de los fluidos para retirar arenas mediante el proceso de sedimentación.

de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

- ✓ **Tanque intermedio:** Este tanque recibe los fluidos del tanque de retorno y continúa el proceso de sedimentación. Este tanque suele ser reserva para cierto volumen de fluido en caso de contingencia durante la operación

- ✓ **Tanque de succión:** En este tanque se trata el fluido del tanque intermedio con el fin de mantener la cantidad mínima de sedimentos pues es este tanque de succión para la bomba de lodos. En este tanque suele prepararse el fluido de control de pozo en caso de ser requerido.

Figura 5. Tanque de lodos



Figura 6. Frac Tank



Fuente: Tomado de MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de workover de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

- **Planta eléctrica:** Son generadores acoplados a un motor Diesel que cumplen la función de brindar energía eléctrica a toda la locación, desde los *containers* donde permanece el personal, la iluminación del pozo hasta los

motores eléctricos de los equipos de *workover*. Generalmente se instalan dos generadores con la intención de tener un equipo de respaldo⁵ (ver **Figura 7**).

Figura 7. Planta eléctrica



Fuente: Tomado de MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de *workover* de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

- **Power Swivel:** Es un sistema que se usa simultáneamente para sostener y hacer girar los elementos que se introducen en el pozo para realizar las diferentes operaciones de *workover* mientras permite el paso de los fluidos de control al pozo (ver **Figura 8**). Mediante un sistema hidráulico impulsado por un motor Diesel, el *power swivel* da rotación a la parte inferior de la carga mientras la parte superior se mantiene estacionaria⁶.

⁵ MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de *workover* de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

⁶ VERGARA, José. García, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de *workover* de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

Figura 8. Power Swivel



Fuente: Tomado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

- **Acumulador de presión:** Es un sistema hidráulico usado para accionar los mecanismos de cierre de las preventoras (BOPS) para evitar accidentes debido al flujo incontrolado de los fluidos provenientes del pozo. El fluido hidráulico se almacena en la unidad a una presión usualmente el doble de la requerida y por medio de líneas de alta presión es enviada hacia la válvula de seguridad que se desea abrir o cerrar. Usualmente estas unidades poseen capacidad de almacenar el fluido hidráulico a 3000 psi y deben almacenar aproximadamente 1 ½ veces el volumen requerido para abrir y cerrar simultáneamente todas las válvulas de las preventoras⁵ (ver **Figura 9**).

Figura 9. Acumulador de presión



Fuente: Tomado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

- **Preventoras:** Conocidas por sus siglas en inglés BOP (*Blow Out Preventer*), son grandes válvulas que se sitúan en la parte superior del pozo con la función de cerrar el paso del fluido de formación en caso de que el equipo de perforación o *workover* haya perdido el control del mismo. Se activan mediante accionamiento hidráulico y son indispensables en el proceso de control del pozo, pues mientras éstas se encuentren cerradas permiten el tiempo suficiente para realizar los procesos de necesarios con el fin de estabilizar la presión del yacimiento. Por este motivo, al ser las preventoras de gran importancia para la seguridad del personal humano, deben ser inspeccionadas, testeadas y renovadas de acuerdo a los requisitos legales vigentes⁶. Existen en la industria dos tipos principales de preventoras (ver **Figura 10**):

- ✓ **Preventora Anular⁷**: Es una válvula de gran tamaño instalada sobre la cabeza del pozo y sobre las preventoras de ariete. Forman un sello en el espacio anular entre la tubería y la pared del pozo. Tiene como ventaja que puede cerrar y hacer un sello efectivo sobre todo tipo de tubería (circular, hexagonal o cuadrada), sin importar su diámetro. Si no hay tubería presente, el pozo es sellado por completo.

- ✓ **Preventora de Arietes⁷**: Posee arietes diseñados evitar que los fluidos del pozo salgan a través de la tubería hacia el exterior. Existen 3 tipos principales de arietes, tubulares, ciegos y de corte.

Figura 10. Conjunto de preventoras. Arriba preventora anular y abajo preventora de arietes



Fuente: Tomado de VERGARA, Jose. GARCÍA, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

⁷ RODRIGUEZ, Alba Enith. “Estudios de control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el campo Apiay y Castilla la Nueva”. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2008.

1.3.2. Lista de precios estándar de equipos convencionales

Por motivos de desarrollo del capítulo 3, se recopilaron algunos precios de los equipos más comunes en pozos de *workover*. Por motivos de confidencialidad, los nombres de las empresas de las cuales fueron obtenidos los valores permanecen en el anonimato. La lista de precios se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Lista de venta de unidades de *workover* convencional.

COSTO COMPRA EQUIPO DE WORKOVER CONVENCIONAL			
ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONEDA
UNIDAD BASICA 350 HP (Incluye Vehículo con motor y torre, subestructura, set de preventoras y acumulador, <i>choke manifold</i> , separador, generador eléctrico, planchada, camino, racks para tubería y varilla, herramientas y equipo de levante y demás accesorios adicionales)	1	1.425.000	USD
BOMBA TRIPLEX (tipo convencional)	1	180.000.000	COP
TANQUES DE LODOS DE 200 BBLS (con agitadores y conexiones, de tipo convencional)	3	250.000.000	COP
CASETA CAMPAMENTO (tipo convencional)	3	55.100.000	COP
CANASTA DE TUBERIA	1	42.000.000	COP
SARTA DE TRABAJO DRILL PIPE 2 7/8" IF RII	1	1.060.000.000	COP
CARGADOR	1	200.000.000	COP

1.4. EQUIPOS LOCATIVOS

Los equipos locativos son aquellas instalaciones que no hacen parte directa de las actividades del pozo sino que brindan las comodidades básicas de dormitorio, oficinas, baños y comedores a todo el personal que se encuentra en la locación. Comúnmente llamadas casetas o *trailers* son instalaciones indispensables en

trabajos de cualquier tipo y su movilización y ubicación en la zona supone gastos de dinero y espacio que no deben ser ignorados a la hora de diseñar el *layout* o la distribución de las cargas en el pozo.

1.4.1. Descripción

Como se mencionó anteriormente, la función de estos equipos es brindar las comodidades básicas del personal y servir para otras actividades indispensables en las diferentes actividades de pozo. En una locación de *workover* convencional es común encontrar varios tipos de *trailers* para suplir las siguientes funciones:

- Dormitorios
- Oficina *Company*, *Tool pusher*, HSEQ, etc.
- Sala de reuniones
- Enfermería
- Cocina
- Comedor
- Bodega, cuarto de repuestos y herramientas

Figura 11. *Trailer* o caseta tipo dormitorio convencional.



Fuente: Tomado de J'S Servipetrol Ltda.

Por lo anteriormente dicho, puede intuirse que estos equipos representan gran parte del espacio total disponible en la zona y que en su distribución, transporte y descargue se invierte gran cantidad de tiempo y dinero, por lo que una optimización en estas operaciones de movilización se debe necesariamente tomar en cuenta el efecto de estas instalaciones, más allá de los equipos de *workover* existentes en la locación.

1.4.2. Lista de precios estándar

Debido al análisis económico que se ha planeado realizar en este documento, fue necesario recopilar una lista de precios estándar de alquiler y venta de los equipos locativos más comunes en actividades de mantenimiento o *workover* en el país, con el fin de realizar una descripción más acertada y con precios reales existentes en la industria. Dicho esto se encontró que la empresa **J'S Servipetrol Ltda.** ofrece un portafolio de unidades locativas con sus respectivos precios de alquiler y venta, los cuales se resumen en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Lista de precios alquiler y venta de unidades móviles.

Descripción	Valor Unitario de alquiler día (\$COP)	Valor Unitario de Venta (\$COP)
Unidad Móvil Tipo Doble	\$ 110.000	\$ 56.181.818
Unidad Móvil Tipo Habitación Sencilla	\$ 90.000	\$ 47.727.273
Unidad Móvil Tipo <i>Company man</i>	\$ 110.000	\$ 54.454.545
Unidad Móvil Tipo Cocina Galvanizada	\$ 150.000	\$ 83.454.545
Unidad Móvil Tipo Sala Tv.	\$ 90.000	\$ 50.181.818
Unidad Móvil Tipo Comedor	\$ 90.000	\$ 50.181.818
Unidad Móvil Tipo Bodega de Abarrotes	\$ 110.000	\$ 50.181.818
Unidad Móvil Tipo Enfermería	\$ 110.000	\$ 54.454.545
Unidad Móvil Tipo Lavandería	\$ 135.000	\$ 71.363.636
Unidad Móvil Tipo Gimnasio	\$ 108.000	\$ 50.181.818

Unidad Móvil Tipo Tunel – aux Cocina	\$ 90.000	\$ 43.909.091
Batería de Baños Pequeña	\$ 90.000	\$ 50.181.818

1.5. METODOLOGÍA DE IZAJE Y TRANSPORTE

Fuente: J'S Servipetrol Ltda.

Para realizar un proceso de movilización de los equipos de *workover* convencionales de una locación a otra, es necesario realizar todo un proceso complejo de cargue y descargue que involucra diversos equipos de transporte indispensables en el proceso. Al no poseer estos equipos de ningún sistema desplazamiento que les permita desplazarse de manera horizontal, éstos deben ser elevados de la superficie con el fin de ser ubicados en el vehículo que finalmente los va a transportar hacia locación final. Tal y como puede verse este proceso puede ser bastante complejo y en varias ocasiones bastante extenso, por lo que los tiempos de movilización suelen ser significativamente altos, teniendo en cuenta que el principio básico de este proceso debe realizarse en cada uno de los equipos que van a ser transportados.

Antes de describir el proceso de manera detallada, deben identificarse los equipos de transporte específicos que deben utilizarse para la operación de cargue y movilización:

Carro Macho Petrolero (Oilfield Winch Truck): Se define como carro macho y/o winche el equipo que consta de un tambor para movimiento con cable y una plataforma para transporte de cargas, todo esto montado sobre un chasis de camión (ver **Figura 12**).

Se debe aclarar que en las operaciones del winche, el equipo no está diseñado para el transporte de carga de forma suspendida (tubería, accesorios, preventoras, válvulas, tanques) por lo que **NO** se permite esta práctica debido al alto riesgo de lesiones que se puedan generar.

El transporte de cargas se debe hacer apoyando estas en la superficie del camión o sobre los soportes dispuestos para ello y teniendo en cuenta la necesidad de

realizar amarres seguros de la carga y que no se superen los límites permitidos del vehículo.

El uso de cable o eslinga trenzada se permite previa aprobación del trenzado por supervisor competente y posterior a la prueba de servicio.

Figura 12. Carro Macho petrolero.



Fuente: Tomado de J'S Servipetrol Ltda.

- **Camión Grúa:** Vehículo con brazo acoplado que permite levantar cargas de la superficie (ver **Figura 13**).

Figura 13. Camión Grúa



- **Cama Baja/Alta:** Vehículo de transporte que posee una plataforma extensa diseñada para el transporte de cargas grandes y largas. Esto se hace apoyando las cargas en los soportes delimitados del vehículo y realizando amarres seguros al momento del transporte (**Figura 14**).

Figura 14. Cama alta (izquierda) y Cama baja (derecha).



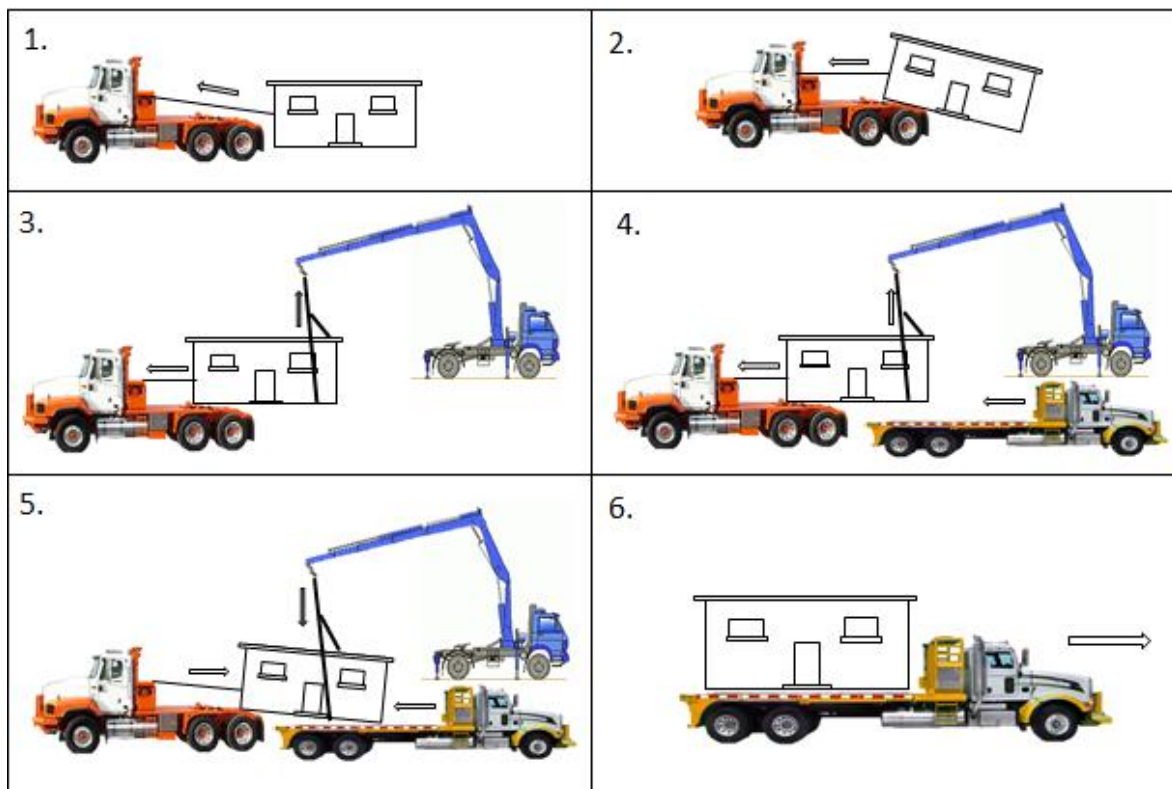
Fuente: Tomado de J'S Servipetrol Ltda.

Definidos los vehículos necesarios para realizar el proceso de cargue de los equipos, la metodología de izaje y transporte se describe a continuación. Si bien no existe un documento que describa de manera detallada un procedimiento estándar de este proceso, la metodología presentada en este documento se ciñe a los procedimientos más comúnmente realizados en la industria:

1. Previo a realizar cualquier operación de este tipo, deben cumplirse todas las normas de seguridad obligatorias para cualquier tipo de trabajo que involucre izaje de cargas y manejo de maquinaria pesada, bien sean: permisos de trabajo, correcta identificación de riesgos y peligros, debida señalización de la actividad a realizar, etc.

2. Se debe verificar que ya hayan sido retiradas todas las conexiones eléctricas y de comunicaciones de los equipos a transportar y que hayan sido correctamente asegurados todos los elementos en su interior.
3. Luego de lo anterior, se procede a acercar el Carro Macho (Winch Truck) en posición de reversa y de manera alineada hacia el equipo que se proceda a movilizar (Ver **Figura 15** parte 1).
4. Deben ajustarse firmemente las eslingas del vehículo en el equipo en alguna zona que soporte la tensión a la que se va a someter posteriormente.
5. Se procede a activar el mecanismo de tracción (winche) con el fin de tirar del equipo hasta que este comience a deslizarse por el tambor y se haya separado completamente del suelo (Ver **Figura 15** parte 2).
6. En esta parte del proceso es necesario utilizar el brazo mecánico de la grúa con el fin de alinear la carga de manera paralela a la superficie. Esto se realiza amarrando el extremo de la carga que hace ángulo con el suelo y elevando hacia arriba hasta que la carga quede completamente alineada con la superficie (Ver **Figura 15** parte 3).
7. Luego de este proceso se procede a acercar la Cama baja o Cama alta según corresponda en posición de reversa hacia la carga que se encuentra suspendida. El objetivo es que la plataforma del vehículo se sitúe debajo de la carga suspendida y ésta pueda descender y ubicarse de la mejor manera posible (Ver **Figura 15** parte 4).
8. Finalmente cuando la plataforma esté correctamente alineada a la carga en suspensión, se procede a hacer el descenso desde ambos extremos de la manera más alineada posible (Ver **Figura 15** parte 5).
9. Para terminar de debe asegurar correctamente la carga al vehículo, mediante cadenas o marres certificados. Luego de esto el equipo está listo para ser movilizad.

Figura 15. Ilustración metodología de izaje y transporte para una unidad locativa convencional.



Este mismo proceso puede ser realizado utilizando una grúa en lugar del carro macho, procedimiento que si bien puede ser menos perjudicial para a estructura de las cargas, es igualmente dispendioso y riesgoso para los trabajadores.

Como puede observarse, todo el proceso de montaje y desmontaje en operaciones de movilización para equipos de *workover* convencional puede ser bastante extenso y complejo. Así las cosas, la empresa **J'S Servipetrol Ltda.**, ha realizado un estudio comparativo de los tiempos aproximados de cargue y descargue de cada uno de los equipos básicos presentes en pozos de *workover*, en el cual se han comparado resultados de diversas empresas y se ha llegado a los valores promedio que se resumen en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Tiempo promedio de cargue y descargue de unidades de *workover* convencional

CARGA	Moviliza con	T. Cargue (hrs)	T. Descargue (hrs)	TOTAL (hrs)
UNIDAD BASICA DE TORRE	Autopropulsado	2	2,5	4,5
MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA	Grúa y Camabaja	2	3	5
VIGA PAPA	Carromacho y Camaalta	0,48	0,48	0,96
PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS	Carromacho y Camaalta	0,585	0,585	1,17
CASETA COMPANY MAN	Carromacho y Camaalta	0,5	0,525	1,025
CASETA TOOL PUSHER / HSEQ / MEC. Y ELEC.	Carromacho y Camaalta	0,5	0,525	1,025
CASETA COMEDOR / ROLL DIARIO / OFICINAS	Carromacho y Camaalta	0,5	0,525	1,025
CHOKE MANIFOLD	Carromacho y Camaalta	0,4575	0,4575	0,915
SEPARADOR O POOR BOY	Carromacho y Camabaja	0,4575	0,4575	0,915
TANQUE # 1	Carromacho y Camabaja	0,6785	0,6785	1,375
TANQUE # 2	Carromacho y Camabaja	0,6785	0,6785	1,375
TANQUE # 3	Carromacho y Camabaja	0,6785	0,6785	1,375
BOMBA DE LODOS	Carromacho y Camaalta	0,48	0,48	0,96
PLANTA ELECTRICA (2 UNIDADES)	Carromacho y Camabaja	0,5	0,5	1
TANQUE DE ACPM	Carromacho y Camabaja	0,5	0,5	1
ACUMULADOR	Carromacho y Camaalta	0,48	0,48	0,96
CAJA DE HERRAMIENTAS (SANCOCHO)	Carromacho y Camaalta	0,5	0,5	1
PUNTO ECOLOGICO	Camión Grúa	0,4575	0,4575	0,915
CANASTA DE TUBERIA	Carromacho y Camaalta	0,48	0,48	0,96
CASETA DEL SOLDADOR / TALLER	Carromacho y Camaalta	0,48	0,48	0,96
CARGADOR	Camabaja	0,4375	0,4375	0,875
HERRAMIENTAS MENORES	Camión Grúa	2,75	2,75	5,5

2. UNIDADES FAST-MOVING

2.1. GENERALIDADES

Una de las principales características de los trabajos de reacondicionamiento de pozos o *workover* es el tránsito constante de equipos y herramientas a través de distintas locaciones, las cuales en muchos casos se encuentran en zonas con espacios restringidos, zonas de difícil geografía y una limitada red de infraestructura por lo que los procesos de movilización y transporte cobran una vital importancia en el dicho proceso. También es necesario enfatizar que gran cantidad de proyectos de *workover* en el país cuentan con una pobre logística en términos de movilización y transporte de equipos lo que supone grandes pérdidas de tiempo invertidas en este proceso lo que se traduce en tiempos improductivos, gran cantidad de equipos para el transporte y pérdidas de dinero para la empresa, pues las movilizaciones convencionales requieren de toda una compleja operación que incluye el uso de carro-machos, camiones grúas y cama bajas. .

Desde el punto de vista logístico es grande el terreno que aún debe recorrerse, sin embargo las unidades *fast-moving* suponen un gran avance en la disminución de estos tiempos de movilización lo que representa un incremento no sólo en los tiempos productivos de la operación sino disminuciones en costos por transporte, optimización de espacios en la locación y disminución de riesgos de seguridad industrial.

El concepto del *fast-moving* consiste básicamente en realizar arreglos a los equipos convencionales con el fin de aumentar la facilidad con que pueden ser transportados y disminuir así el tiempo del proceso de cargue, transporte y descargue de toda la operación (ver **Figura 16**). En algunos casos las adaptaciones pueden incluir la agrupación de distintas cargas en un solo sistema lo que reduce su número al mismo tiempo que disminuye los tiempos de movilización. Todas estas adaptaciones se

traducen en grandes beneficios a la operación puesto que los tiempos ganados en movilización pueden ser aprovechados en operación lo que aumenta la efectividad del proceso y reduce considerablemente los tiempos no productivos. Esto sumado a los beneficios secundarios de reducción en espacios en la locación por la agrupación de cargas y la disminución de incidentes operacionales en las operaciones de cargue y descargue de los equipos.

Figura 16. Equipo de *fast-moving*



Fuente: Tomado de Independence S.A.

Por lo anteriormente descrito y a modo de resumen puede establecerse que:

- El uso de unidades *fast-moving* reduce de manera significativa los tiempos de movilización de equipos con respecto a las unidades convencionales.
- La reducción de tiempos en la movilización se traduce en tiempo de operación lo que representa grandes beneficios para la operación y para la empresa en términos económicos.
- La implementación de estos sistemas reducen significativamente los tiempos no productivos.

- La agrupación de cargas ayuda a optimizar el espacio en la locación que muchas veces puede ser reducido.
- Los incidentes operacionales por operaciones de cargue y descargue se disminuyen considerablemente mediante sistemas *fast-moving* debido a que no requiere uso de sistemas de izaje y otras operaciones peligrosas.

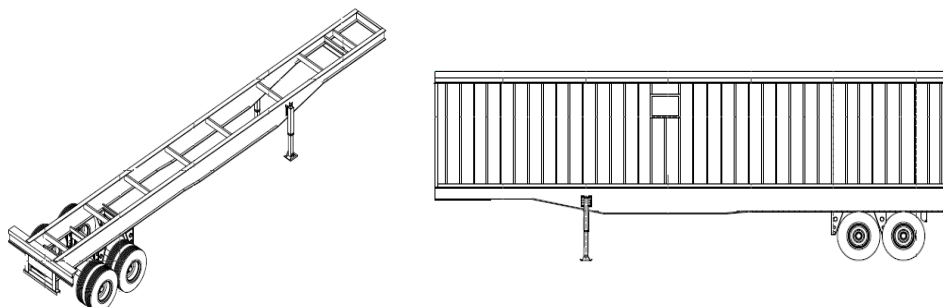
2.2. UNIDADES FAST-MOVING LOCATIVAS

Las unidades de *fast-moving* de tipo locativo reducen de manera significativa sus tiempos de cargue y descargue al presentar una modificación en su estructura y ubicarse sobre un trailer el cual requiere menor cantidad de vehículos para ser transportado además de facilitar los procesos de enganche y desenganche disminuyendo de manera significativa el tiempo de toda la operación.

2.2.1. Descripción

El arreglo de dichas unidades consiste en posicionar el cuerpo de la unidad convencional en un *trailer* adaptado con un tren de apoyo plegable que no sólo sirva de anclaje y soporte de la unidad a la suelo, sino que funcione como un auxiliar a la hora de enganchar la caseta al vehículo de transporte al momento de realizarse esta operación (ver **Figura 17**).

Figura 17. trailer de soporte para *fast-moving* y Caseta adaptada al sistema *fast-moving*



Fuente: J'S Servipetrol Ltda.

De esta manera el cuerpo de la unidad puede ser fácilmente enganchada al vehículo de transporte (cabezote) y ser transportada sin mayores inconvenientes (ver **Figura 18**). Es necesario recordar, como se indicó en el capítulo anterior, que las unidades locativas de tipo convencional no sólo requerían mayor cantidad de unidades de carga para realizar el montaje y desmontaje (camiones grúa, carro machos y cama bajas), sino que los tiempos de dichas operaciones podían ser bastante altos con respecto a una operación de enganche y desenganche del sistema *fast-moving*.

Figura 18. Caseta tipo *fast-move* enganchada al cabezote y lista para ser movilizada.



2.2.2. Lista de precios estándar

Al igual que se describió en el capítulo anterior, fue necesario recopilar una lista de precios estándar de alquiler y venta de los equipos locativos tipo *fast-move* más comunes en actividades de mantenimiento o *workover* en el país, con el fin de realizar una descripción más acertada y con precios reales existentes en la industria. Al igual que con las unidades estándar, la empresa **J'S Servipetrol Ltda.** ofrece un portafolio de unidades locativas tipo *fast-moving* con sus respectivos precios de alquiler y venta, los cuales se resumen en la

Tabla 4.

Tabla 4. Lista de precios alquiler y venta unidades móviles tipo *fast-moving*

Descripción	Valor Unitario de alquiler día (\$COP)	Valor Unitario de Venta (\$COP)
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Doble	\$ 170.000	\$ 94.727.273
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo <i>Company Man</i>	\$ 170.000	\$ 94.727.273
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Cocina Galvanizada	\$ 210.000	\$ 117.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Sala Tv.	\$ 150.000	\$ 89.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Comedor	\$ 150.000	\$ 89.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Bodega de Abarrotes	\$ 160.000	\$ 89.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Enfermería	\$ 160.000	\$ 89.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Lavandería	\$ 195.000	\$ 101.363.636
Sistema sobre <i>Trailer</i> Tipo Gimnasio	\$ 170.000	\$ 89.090.909
Sistema sobre <i>Trailer</i> Generador – Oficina – Oficina – Comedor	\$ 320.000	\$ 140.909.091
Sistema Sobre <i>Trailer</i> Tipo Doble Autosuficiente	\$ 210.000	\$ 118.181.818

Fuente: J'S Servipetrol Ltda.

2.3. UNIDADES FAST-MOVING EN OPERACIONES DE WORKOVER

Como se enunció al principio del capítulo, algunos arreglos de unidades *fast-moving* presentan agrupaciones de cargas lo que facilita no sólo la movilización de más equipos en un solo viaje sino también la optimización del espacio en la locación que muchas veces puede ser reducido. De esta manera, varios equipos de *workover* pueden ser agrupados en un solo trailer de tal manera que faciliten en mayor medida su transporte y ubicación en el pozo.

2.3.1. Descripción

Como se describió anteriormente, esta agrupación de cargas suele ser de gran utilidad en los procesos de movilización por los motivos previamente enunciados. Por obvias razones no todas los tipos de cargas son compatibles y no todas pueden ser agrupadas en un solo sistema. Las agrupaciones más comunes son las de aquellos equipos que pueden cumplir su función independientemente del hecho de que se encuentren compactados junto a otros equipos de diferentes funciones. Así es el caso del *choke manifold* y el *poor boy* (**Figura 19**) que en muchos casos son agrupados en una sola plataforma y por el simple hecho de estar unidos representan ya un arreglo *fast-moving* al tener en cuenta que su movilización se puede realizar de manera conjunta y no por separado.

Figura 19. *Choke Manifold y Poor Boy* acoplados.



También se pueden ver casos de agrupaciones entre los Generadores, el acumulador de presión y el sancocho de herramientas, lo que representa un incremento en la optimización del espacio y una disminución de la cantidad de cargas a movilizar. Lo mismo sucede al agrupar las bombas de lodos con los generadores, y el taller con los tanques de ACPM, etc. Las posibilidades son múltiples. El **ANEXO B** presenta el Layout de un pozo de *workover* con agrupaciones múltiples de cargas y puede observarse una gran optimización del espacio si se compara con un Layout de equipos convencionales (**ANEXO A**).

2.3.2. Lista de precios estándar de equipos fast-moving

Por motivos de desarrollo del capítulo 3, se recopilaron algunos precios de los equipos más comunes en pozos de *workover*, algunos de los cuales presentan arreglos de tipo *fast-moving*. Por motivos de confidencialidad, los nombres de las empresas de las cuales fueron obtenidos los valores permanecen en el anonimato. La lista de precios se presenta en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Lista de precios de venta de unidades de *workover* tipo *fast-moving*.

COSTO COMPRA EQUIPO DE WORKOVER TIPO FAST MOVING			
ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONEDA
UNIDAD BASICA 350 HP (Incluye Vehículo con motor y torre, subestructura, set de preventoras y acumulador, <i>choke manifold</i> , separador, generador eléctrico, planchada, camino, racks para tubería y varilla, herramientas y equipo de levante y demás accesorios adicionales)	1	1.425.000	USD
BOMBA TRIPLEX (tipo convencional)	1	180.000.000	COP
TANQUES DE LODOS DE 200 BBLS (con agitadores y conexiones, de tipo <i>fast moving</i>)	3	310.000.000	COP
CASETA CAMPAMENTO (tipo <i>fast moving</i>)	3	94.000.000	COP
CANASTA DE TUBERIA	1	42.000.000	COP
SARTA DE TRABAJO DRILL PIPE 2 7/8" IF RII	1	1.060.000.000	COP
CARGADOR	1	200.000.000	COP

Fuente: J'S Servipetrol Ltda.

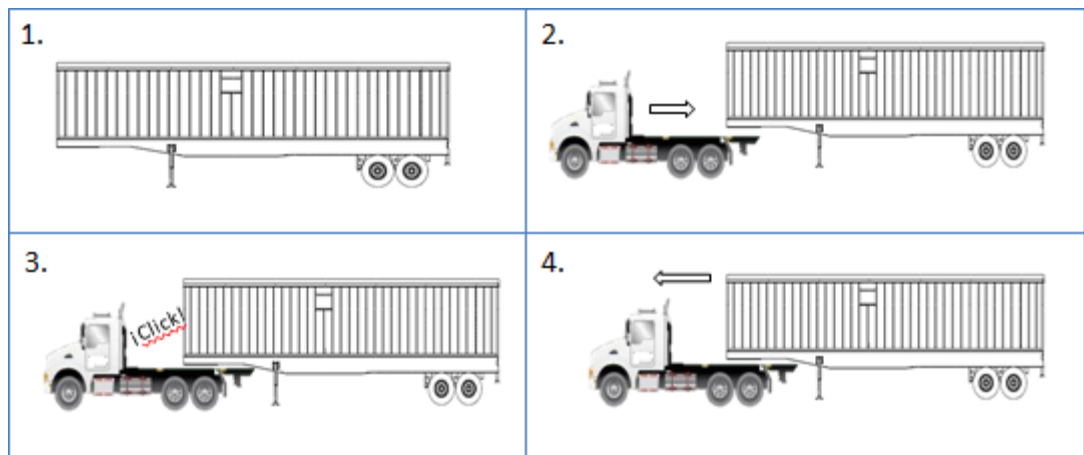
2.4. METODOLOGÍA DE IZAJE Y TRANSPORTE

Es aquí, en el procedimiento de transporte donde se evidencia la principal ventaja y el objetivo principal de los equipos *fast-moving*, pues gran parte de los beneficios, descritos con anterioridad, que otorgan estos equipos, se deben a su procedimiento rápido, sencillo y seguro de montaje, transporte y desmontaje durante las operaciones de movilización.

Cabe aclarar que, en el sentido estricto de la palabra, en los sistemas *fast moving* no se habla de una carga y una descarga, sino más bien de un enganche y desenganche. Sin embargo, para efectos comparativos, se utilizan los mismos términos, definiendo una operación de carga/descarga como el proceso mediante el cual los elementos necesarios son colocados/retirados de su lugar.

Como se había dicho con anterioridad, la mayoría de equipos *fast-moving* presentan arreglos sobre trailer lo que facilita su movilización pues es el mismo equipo el que puede ser enganchado a un cabezote de tractomula y movilizarse directamente por carretera, sin ningún tipo de operación extra ni equipos adicionales (ver Metodología de Izaje y transporte, Capítulo 1). Esto no sólo disminuye drásticamente el tiempo total de la movilización, sino que además disminuye los gastos de dinero necesarios para alquilar otra clase de vehículos requeridos en las movilizaciones convencionales. Al hacer esto se disminuyen también los riesgos asociados a izaje de cargas, uso de cadenas y eslingas, y otra cantidad de operaciones riesgosas para el personal de la locación. El proceso de enganche de la carga puede observarse en la **Figura 20**.

Figura 20. Proceso de enganche de un *trailer* tipo *fast-moving*.



En la anterior ilustración puede verse como todo el complejo proceso de realizar el montaje de un equipo de manera convencional se ve reducido al acople de la carga al pin de ajuste o “quinta rueda” del cabezote y de esta manera queda lista para ser transportada. Esta operación reduce en gran medida los tiempos de cargue y descargue de los equipos de *workover* que presentan este tipo de arreglo, como puede observarse en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Tiempo promedio de cargue y descargue de unidades de *workover* mediante el sistema *fast-moving*.

CARGA	Moviliza con	T. Cargue (hr)	T. Descargue (hrs)	T. Total (hrs)
UNIDAD BASICA DE TORRE	Autopropulsado	1,5	2	3,5
MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA	Grua y Camabaja	2	3	5
VIGA PAPA	Carromacho y Camaalta	0,5	0,5	1
PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS	Carromacho y Camaalta	0,5	0,5	1
CASETA COMPANY MAN	Cabezote	0,25	0,25	0,5
CASETA TOOL PUSHER / HSEQ / MEC. Y ELEC.	Cabezote	0,25	0,25	0,5
CASETA COMEDOR / ROLL DIARIO / OFICINAS	Cabezote	0,25	0,25	0,5
CHOKE MANIFOLD + SEPARADOR (POOR BOY)	Carromacho y Camaalta	0,5	0,5	1
TANQUE # 1	Cabezote	0,5	0,5	1
TANQUE # 2	Cabezote	0,5	0,5	1
TANQUE # 3	Cabezote	0,5	0,5	1
BOMBA DE LODOS	Cabezote	0,5	0,5	1
PLANTA ELECTRICA + ACUMULADOR + CAJA HERRAMIENTAS	Cabezote	0,25	0,25	0,5
TANQUE DE ACPM	Cabezote	0,25	0,25	0,5
CANASTA DE TUBERIA	Carromacho y Camaalta	0,5	0,5	1
CASETA DEL SOLDADOR / TALLER + PUNTO ECOLOGICO	Cabezote	0,25	0,25	0,5
CARGADOR	Camabaja	0,5	0,5	1
HERRAMIENTAS MENORES (REGUERO)	Camion Grua	3	3	6

Fuente: J'S Servipetrol Ltda.

Los datos fueron provistos por la empresa **J'S Servipetrol Ltda.** la cual ha realizado un estudio comparativo de los tiempos aproximados de cargue y descargue de cada uno de los equipos básicos presentes en pozos de *workover* con la adaptación *fast-moving*.

3. ANALISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS UNIDADES *FAST MOVING*

Este capítulo contempla el análisis técnico y financiero de la implementación de las unidades *fast-moving* en operaciones de campo. Para poder lograr este análisis técnico, se plantea que los factores a optimizar por esta nueva tecnología son los costos operativos y la extensión de la locación.

La extensión de la locación puede ser analizada mediante la construcción de *layouts* hipotéticos para un caso con unidades convencionales y para otro caso con unidades optimizadas. Esta puede ser evaluada en función de los metros cuadrados ahorrados por el nuevo sistema, aunque este valor termina siendo netamente cualitativo, ya que no se hace el análisis de costo por metro cuadrado.

Los costos operativos son analizados mediante un diseño experimental, aplicado a un clúster de 5 pozos, el cual contempla dos variables operativas (Precio del Barril WTI y Caudal de Producción de aceite diario), variándolo en 3 niveles (Alto, Medio y Bajo) en forma de diseño matricial 3^2 . La diferencia principal entre los dos tipos de sistema radica en los tiempos de carga y descarga, los cuales representan una optimización en el tiempo total de la operación de *workover*, y estos a su vez representan una disminución en los tiempos no productivos del pozo, lo cual afectará favorablemente la viabilidad económica del proyecto. Los costos de arrendamiento asociados a las operaciones de *workover* también varían entre los diferentes tipos de sistemas.

Se hace un análisis económico de todos los casos en la matriz experimental, y en base a estos, se evalúa la viabilidad de la implementación de unidades *fast-moving* y la influencia de las variables operativas en la economía del proyecto.

3.1. DISEÑO

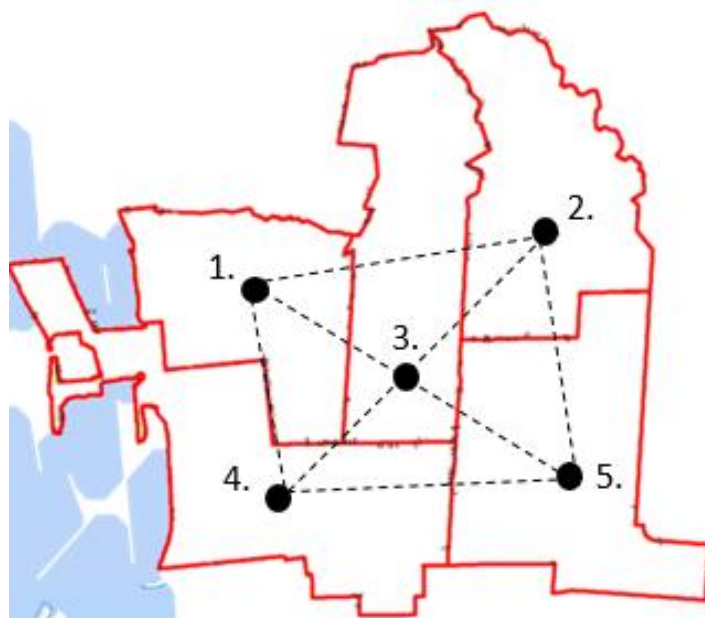
Como se dijo anteriormente, se aplicará un diseño experimental para poder analizar la influencia de la reducción de los tiempos no productivos de las operaciones de *workover* en la economía de los pozos beneficiados con la tecnología *fast-moving*. A continuación se detallan los factores tenidos en cuenta por el experimento, las consideraciones del diseño y el esquema final.

3.1.1. Factores Implicados

- **Locación**

El caso base del diseño consta de un clúster de 5 pozos, con un arreglo geométrico estándar de 5 puntos, sin ningún tipo de particularidad ni problema de aseguramiento de flujo latente. Se asume por experiencia, que cada uno de estos pozos requiere una operación de *workover* cada 3 meses. La **Figura 21** muestra la ubicación de este clúster, se asume que los pozos están distanciados de manera equitativa, por lo cual los costos de desplazamiento no tendrán una influencia significativa en la economía del proyecto.

Figura 21. Cluster base de producción



En la locación se cuenta con una Torre de *Workover* de 350HP, la cual es propia del proyecto, al igual que el resto de unidades fundamentales de *workover*. Las unidades locativas se arriendan por cada pozo durante el tiempo que dure la operación, lo cual se ampliará más adelante.

- **Frecuencia de Operación**

La frecuencia con la que se realizan operaciones de *workover* depende de diversos factores, tales como la naturaleza de los fluidos producidos, la presencia de problemas de aseguramiento de flujo tales como arenamiento de los pozos, escamas orgánicas e inorgánicas, espumas, emulsiones entre otros. La naturaleza del problema a tratar o del fluido producido no solo determinará la frecuencia con la

que se realiza la operación, sino también el tamaño de la operación, es decir, el número de herramientas empleadas.

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los pozos pertenecientes al clúster requiere una operación de *workover* cada 3 meses por un período de 3 años, el cual es el tiempo de la evaluación financiera. La **Tabla 7** muestra el cronograma, el cual fue diseñado para que la distribución de la torre fuera equitativa a lo largo de los meses.

Tabla 7. Cronograma de Operaciones de *workover* para el *Cluster*

Mes																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3		
C																																							
1	X			X						X											X																		
2		X			X						X											X																	
3			X			X						X										X																	X
4	X			X							X											X																	X
5		X			X							X										X																	X

- **Tiempos No Productivos**

Se define tiempo no productivo, como todo aquel intervalo de tiempo en el cual el pozo se mantiene cerrado (sin producción de crudo) debido a diversos procesos tales como la intervención de pozos, debido a operaciones de *workover*. Esta es la variable clave, ya que es lo que diferencia a los sistemas convencionales de los sistemas *fast-moving*. Para efectos de simplificación del diseño experimental, se toma el caso de dos configuraciones de Workover Mayor: una configuración convencional, y una configuración *fast-moving*.

Estas configuraciones tienen una cantidad detallada de herramientas tanto locativas como operativas del proceso de *workover*, las cuales son descritas en la

Tabla 8. En color amarillo aparecen las unidades fundamentales, que regularmente vienen incluidas en la Unidad básica de la Torre, mientras que en color verde aparecen el resto de unidades fundamentales, en color naranja aparecen las unidades locativas, y en gris aparecen aquellas unidades las cuales sus costos no fueron considerados para propósitos del diseño. En este caso, la optimización del tiempo se da no solo por la reducción de tiempos unitarios del proceso *fast-moving* (el cual es menos complejo) sino que se da por el agrupamiento de ciertas unidades, lo cual reduce el número de vehículos necesarios para su movilización.

Tal y como se muestra en los capítulos anteriores, cada una de estos elementos tiene un mecanismo diferenciado de carga y descarga, y por lo tanto tiene un tiempo de izaje diferente. Para poder calcular el tiempo no productivo total para estas operaciones de izaje asociado a las configuraciones que muestra la **Tabla 8**, es necesario hacer un recuento de los vehículos mínimos necesarios para desarrollar la operación de izaje, los cuales se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 8. Descripción Unidades de Sistemas Convencionales y *Fast-moving*

Descripción CONVENCIONAL	Descripción Unidad FAST MOVING
UNIDAD BASICA DE TORRE	UNIDAD BASICA DE TORRE
MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA	MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA
VIGA PAPA	VIGA PAPA
PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS	PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS
CHOKE MANIFOLD	CHOKE MANIFOLD + SEPARADOR (POOR BOY)
SEPARADOR O POOR BOY	PLANTA ELECTRICA + ACUMULADOR + CAJA HERRAMIENTAS
PLANTA ELECTRICA (2 UNIDADES)	CASETA DEL SOLDADOR / TALLER + PUNTO ECOLOGICO
ACUMULADOR	CASETA COMPANY MAN + TOOL PUSHER
CASETA DEL SOLDADOR / TALLER	CASETA / HSEQ / MEC. Y ELEC / ROLL DIARIO / OFICINAS
TANQUE # 1	ENFERMERÍA
TANQUE # 2	COCINA GALVANIZADA / COMEDOR
TANQUE # 3	BATERIA DE BAÑOS
CARGADOR	2 HABITACIONES DOBLES EXTRA
BOMBA DE LODOS	BODEGA DE ABARROTOS
CANASTA DE TUBERIA	TANQUE # 1
ENFERMERÍA	TANQUE # 2
COCINA GALVANIZADA	TANQUE # 3
BATERIA DE BAÑOS	BOMBA DE LODOS
2 HABITACIONES DOBLES EXTRA	CANASTA DE TUBERIA
BODEGA DE ABARROTOS	CARGADOR
CASETA COMPANY MAN	TANQUE DE ACPM
CASETA TOOL PUSHER / HSEQ / MEC. Y ELEC.	HERRAMIENTAS MENORES (REGUERO)
CASETA COMEDOR / ROLL DIARIO / OFICINAS	
PUNTO ECOLOGICO	
TANQUE DE ACPM	
CAJA DE HERRAMIENTAS (SANCOCHO)	
HERRAMIENTAS MENORES (REGUERO)	

Tabla 9. Equipos Mínimos Necesarios para Izaje y transporte

Equipo Minimo Requerido	Cantidad Requerida Convencional	Cantidad Requerida Fast Moving
Unidad Basica (UB)	1	1
Grua (G)	1	1
Carromachos (CM)	2	1
Camaaltas (CA)	2	1
Camabajas (CB)	3	1
Camion Grua o Cargador (CG)	1	1
Cabezotes (CZ)	0	4

En secciones anteriores del libro (**Tabla 3** del **Capítulo 1** para el sistema convencional y la **Tabla 6** del **Capítulo 2** para el sistema Fast Moving) muestra todas las herramientas utilizadas en los diferentes tipos de sistemas, cuál es su mecanismo de izaje, y cuanto es el tiempo promedio en el que se monta/desmonta la unidad.

Con base en estos tiempos, se calcula el tiempo total de carga y descarga para cada sistema. Para esto se tiene que multiplicar el tiempo de carga y descarga de cada elemento por el equipo que emplea para esta labor, y luego se suman todas las horas para cada equipo empleado. Por ejemplo, un tanque de lodos requiere 0,915 horas para el cargue y el descargue (0,45 aproximadamente para cada actividad), y para cargar un tanque de la manera convencional se emplea un carro macho y una cama baja. Por lo tanto, el izaje de este tanque de lodos aporta 0,915 horas de actividad al carro macho disponible en la locación. En el caso del sistema convencional, la sumatoria de todas las horas para el carro macho es de 27,17

horas, y como existen 2 carro machos disponibles en la locación (véase **Tabla 9**), entonces cada carro macho emplea 13,58 horas, el cual es el tiempo real de carga y descarga.

Se asume que todas las actividades de carga y descarga, a excepción de la Unidad Básica, son simultáneas. Entonces el tiempo real total del sistema será el tiempo mayor resultante del anterior procedimiento. Este tiempo (13,58 horas para el caso del sistema convencional), sumado con las 4,5 horas del montaje y desmontaje de la unidad básica, da un total de 18,08 horas de carga y descarga. Y esto sumado con un tiempo supuesto de operación de la torre de workover de 3 días (72 horas), da un tiempo no productivo total de 90,08 Horas o 3,75 días. *Quiere decir que en el sistema no convencional, el pozo que es sometido a una operación de workover pierde 3,75 días de producción.*

Para el sistema *fast-moving*, realizando el mismo cálculo de tiempo no productivo total, se obtienen unas 81,5 Horas, lo que quiere decir, que el pozo sometido a una operación de workover con este sistema pierde 3,39 días de producción. *Los tiempos no productivos asociados a las operaciones de izaje se ven reducidos en un 47,5%.*

Los cálculos tanto para el sistema convencional como para el sistema *fast-moving* se encuentran consignados en el **ANEXO C**.

Inversión Inicial (CAPEX)

Tal y como se mencionó anteriormente, la unidad de workover y todos los equipos fundamentales son propios del proyecto, por lo tanto, constituyen una inversión inicial de capital. Las **Tablas 10 y 11** muestran los costos de cada una de estas unidades tanto para sistemas convencionales como para sistemas *fast-moving*. Nuevamente, las casillas en amarillo simbolizan que el costo de la unidad se encuentra incluido en la unidad básica de la torre. Las unidades compradas en

dólares fueron convertidas a pesos mediante la tasa representativa del mercado, la cual se estimó en 2380 COP.

Tabla 10. Inversión inicial para el sistema convencional

Descripción Unidad	Precio de Compra	Unidad
UNIDAD BASICA DE TORRE	\$1.425.000,00	USD
MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA	\$0,00	USD
VIGA PAPA	\$0,00	USD
PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS	\$0,00	USD
CHOKE MANIFOLD	\$0,00	USD
SEPARADOR O POOR BOY	\$0,00	USD
PLANTA ELECTRICA (2 UNIDADES)	\$0,00	USD
ACUMULADOR	\$0,00	USD
CASETA DEL SOLDADOR / TALLER	\$0,00	USD
TANQUE # 1	\$250.000.000,00	COP
TANQUE # 2	\$250.000.000,00	COP
TANQUE # 3	\$250.000.000,00	COP
CARGADOR	\$200.000.000,00	COP
BOMBA DE LODOS	\$180.000.000,00	COP
CANASTA DE TUBERIA	\$42.000.000,00	COP
	\$4.563.500.000,00	COP

. **Tabla 11.** Inversión inicial para el sistema *fast-moving*

Descripción Unidad	Precio de Compra	Unidad
UNIDAD BASICA DE TORRE	\$1.425.000,00	USD
MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA	\$0,00	USD
VIGA PAPA	\$0,00	USD
PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS	\$0,00	USD
CHOKE MANIFOLD + SEPARADOR (POOR BOY)	\$0,00	USD
PLANTA ELECTRICA + ACUMULADOR + CAJA HERRAMIENTAS	\$0,00	USD
CASETA DEL SOLDADOR / TALLER + PUNTO ECOLOGICO	\$0,00	USD
TANQUE # 1 (Adaptación <i>fast-moving</i>)	\$310.000.000,00	COP
TANQUE # 2 (Adaptación <i>fast-moving</i>)	\$310.000.000,00	COP
TANQUE # 3 (Adaptación <i>fast-moving</i>)	\$310.000.000,00	COP
BOMBA DE LODOS	\$180.000.000,00	COP
CANASTA DE TUBERIA	\$42.000.000,00	COP
CARGADOR	\$200.000.000,00	COP
	\$4.743.500.000,00	COP

- **Gastos Operacionales (OPEX)**

Los costos de arrendamiento en este sistema corresponden a los equipos locativos, y a los equipos empleados para el izaje de los sistemas durante las operaciones de *workover*. Además de estos costos, el campo requiere sacar un porcentaje para el pago de nómina de todos los trabajadores de la torre, además de los costos de extracción del crudo y el auto sostenimiento del cluster. Para tener en cuenta estos costos, se utilizó el concepto de *Lifting Cost*, el cual se asumió de 10 USD por Barril.

Los costos de arrendamiento y los costos de auto sostenimiento constituyen lo que se conoce como costos operacionales (OPEX)

Las **Tablas 12 y 13** muestran los costos de arrendamiento de las unidades locativas, convencionales y *fast-moving* respectivamente. Estas unidades se arriendan por el tiempo que dure la operación de workover, es decir, por el tiempo no productivo respectivo de cada sistema, el cual fue calculado con anterioridad.

Tabla 12. Costos de arrendamiento de unidades locativas para el sistema convencional

Descripción Unidad	Precio de Arriendo	Unidad	Días
ENFERMERÍA	\$110.000,00	COP/Día	3,75
COCINA GALVANIZADA	\$150.000,00	COP/Día	3,75
BATERIA DE BAÑOS	\$90.000,00	COP/Día	3,75
2 HABITACIONES DOBLES EXTRA	\$220.000,00	COP/Día	3,75
BODEGA DE ABARROTOS	\$110.000,00	COP/Día	3,75
CASETA COMPANY MAN	\$110.000,00	COP/Día	3,75
CASETA TOOL PUSHER / HSEQ / MEC. Y ELEC.	\$110.000,00	COP/Día	3,75
CASETA COMEDOR / ROLL DIARIO / OFICINAS	\$90.000,00	COP/Día	3,75
	\$3.725.903,13	COP/Día	

Tabla 13. Costos de arrendamiento de unidades locativas para el sistema fast-moving

Descripción Unidad	Precio de Arriendo	Unidad	Días
CASETA COMPANY MAN/ TOOL PUSHER	\$170.000,00	COP/Día	3,39
HSEQ / MEC. Y ELEC./ ROLL DIARIO / OFICINAS	\$170.000,00	COP/Día	3,39
ENFERMERÍA	\$160.000,00	COP/Día	3,39
COCINA GALVANIZADA / COMEDOR	\$210.000,00	COP/Día	3,39
BATERIA DE BAÑOS	\$90.000,00	COP/Día	3,39
2 HABITACIONES DOBLES EXTRA	\$340.000,00	COP/Día	3,39
BODEGA DE ABARROTES	\$160.000,00	COP/Día	3,39
	\$4.414.583,33	COP/Día	

Cuando se determinaron los tiempos no productivos de cada sistema, se determinó de manera paralela la cantidad de equipos para izaje necesarios en cada uno. Cada uno de estos equipos tiene un costo de arrendamiento, el cual es independiente de tiempo no productivo de cada sistema, debido a que se asume que estos son arrendados por un periodo de 2 días, el día en el que inicia el workover (descarga) y el día que finaliza la operación (carga).

Las **Tablas 14 y 15** muestran los costos de arrendamiento de los equipos de Izaje para cada uno de los sistemas.

Tabla 14. Costos de arrendamiento para izaje del sistema convencional

Item	Equipo	Valor Día	Cantidad	Número de Días	Valor Nominal
1	CAMA ALTA	\$1.000.000,00	2	2	\$4.000.000,00
2	CAMA BAJA	\$1.300.000,00	3	2	\$7.800.000,00
3	CABEZOTE	\$800.000,00	0	0	\$0,00
4	CARGADOR	\$700.000,00	0	0	\$0,00
5	CAMION GRUA 10 ton.	\$800.000,00	1	2	\$1.600.000,00
6	CARRO MACHO	\$1.200.000,00	2	2	\$4.800.000,00
7	GRUA 30 ton.	\$2.500.000,00	0	0	\$0,00
8	GRUA 60 ton.	\$3.500.000,00	1	2	\$7.000.000,00
9	CARRO TANQUE 3.500 GLS	\$500.000,00	0	0	\$0,00
10	CARRO TANQUE 11.200 GLS	\$1.200.000,00	0	0	\$0,00
11	CAMION DE VACIO	\$850.000,00	0	0	\$0,00
TOTAL					\$25.200.000,00

Tabla 15. Costos de arrendamiento para izaje del sistema *fast-moving*

Item	Equipo	Valor Día	Cantidad	Número de Días	Valor Nominal
1	CAMA ALTA	\$1.000.000,00	1	2	\$2.000.000,00
2	CAMA BAJA	\$1.300.000,00	1	2	\$2.600.000,00
3	CABEZOTE	\$800.000,00	4	2	\$6.400.000,00
4	CARGADOR	\$700.000,00	0	0	\$0,00
5	CAMION GRUA 10 ton.	\$800.000,00	1	2	\$1.600.000,00
6	CARRO MACHO	\$1.200.000,00	1	2	\$2.400.000,00
7	GRUA 30 ton.	\$2.500.000,00	0	0	\$0,00
8	GRUA 60 ton.	\$3.500.000,00	1	2	\$7.000.000,00
9	CARRO TANQUE 3.500 GLS	\$500.000,00	0	0	\$0,00
10	CARRO TANQUE 11.200 GLS	\$1.200.000,00	0	0	\$0,00
11	CAMION DE VACIO	\$850.000,00	0	0	\$0,00
TOTAL					\$22.000.000,00

3.1.2. Diseño Matricial

La **Tabla 16** muestra el diseño matricial obtenido para el experimento. Esto permitirá variar adecuadamente las variables anteriormente mencionadas, y con esto se podrá hacer una evaluación del efecto de la implementación de las unidades *fast-moving* en la operación de workover.

Tabla 16. Diseño matricial de situaciones a evaluar

		WTI		
		50	60	70
Caudal	250	1	2	3
	300	4	5	6
	350	7	8	9

Cada uno de estos 9 experimentos corresponde a un escenario de producción y a unos resultados diferentes. Esta variedad de resultados se hace para tener un espectro amplio sobre el cual rectificar la superioridad de los sistemas *fast-moving*, desde un punto de vista financiero.

3.2. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Para realizar la evaluación económica del proyecto, se tienen en cuenta 4 indicadores importantes: Valor Presente Neto, Relación Costo-Beneficio, *Payback* y Tasa Interna de Retorno.

El **Flujo de Caja Neto (FCN)** representa la diferencia entre los ingresos del proyecto mensuales (provenientes de la producción de crudo) menos los egresos del

proyecto. La inversión inicial de capital, CAPEX, cuenta como egreso durante el primer mes, mientras que los costos operativos, OPEX, se cuentan mes a mes. El OPEX engloba los costos provenientes del *lifting cost*, más los costos de arrendamiento de equipos de izamiento y de unidades locativas durante el tiempo que duran las operaciones de *workover*.

El **Valor Presente Neto (VPN)** representa el valor del Flujo de caja neto (Ingresos – Egresos) del proyecto luego de terminado el tiempo de evaluación de este. Es sabido que el dinero sufre depreciaciones a lo largo del tiempo, en función de las tasas de interés del mercado, para lo cual se debe pasar a valor presente mediante la ecuación 1. En esta ecuación, i representa la tasa de oportunidad la cual es asumida 10%, y n representa el tiempo en meses.

$$VPN = \frac{\text{Flujo de Caja Neto}}{(1 + i)^n} \quad \text{Ec. 1}$$

La **Relación Costo Beneficio (RCB)** proviene del cociente de todos los ingresos acumulados del proyecto sobre todos los egresos acumulados del proyecto, tal y como lo muestra la ecuación 2. Este valor simboliza de manera aproximada, cuánto dinero se recibe por cada unidad invertida. Por ejemplo, si la RCB del proyecto es 1,45, significa que por cada peso invertido se están recuperando 1,45 pesos.

$$RCB = \frac{\Sigma \text{Ingresos}}{\Sigma \text{Egresos}} \quad \text{Ec. 2}$$

La **Tasa Interna de Retorno (TIR)** es la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto (VPN) es igual a cero. La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se

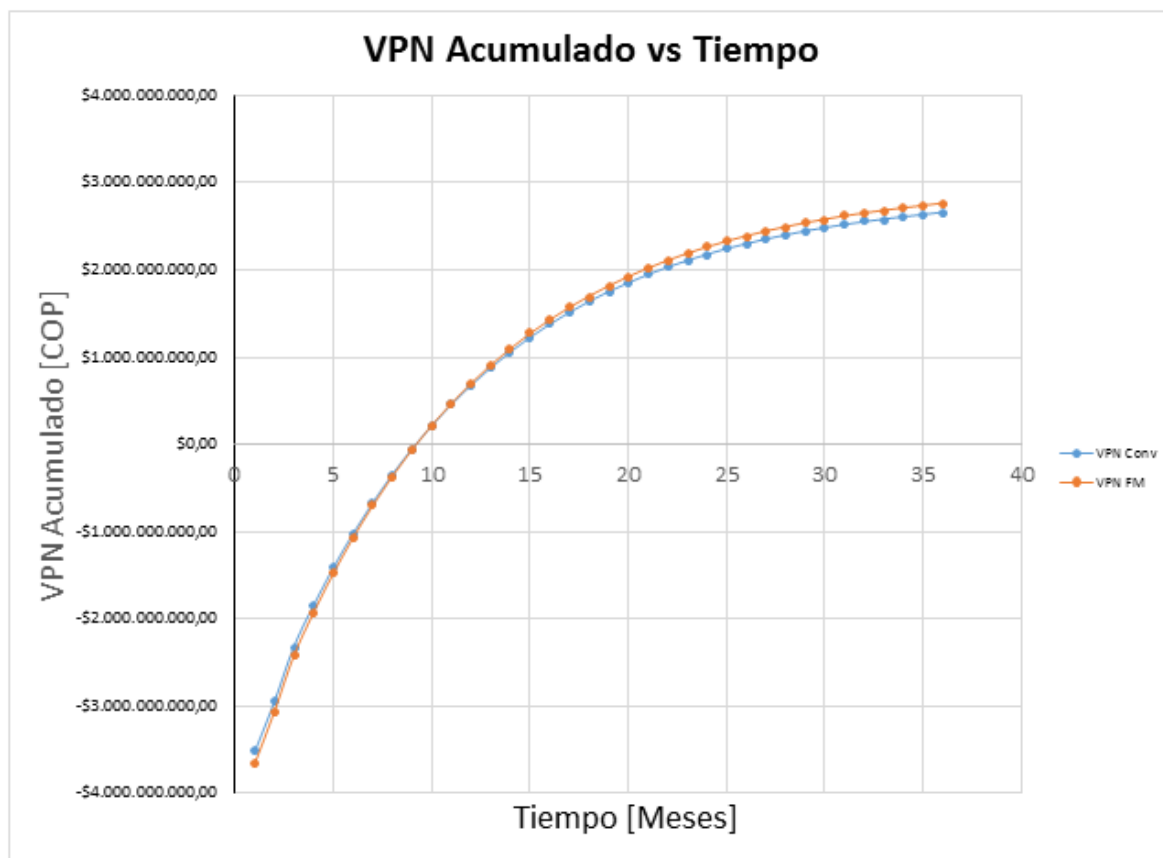
utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Esta se puede calcular mediante el uso de la ecuación 3, o mediante métodos iterativos, variando i hasta que el VPN sea igual a 0.

$$VPN = \sum \frac{FCN}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad \text{Ec. 3}$$

Se entiende por **Payback** como el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial, es decir, cuando el valor presente neto del proyecto iguala el CAPEX. Para determinar este tiempo, se debe hacer una gráfica de VPN Acumulado vs. Tiempo, y el tiempo en el cual la gráfica corte el eje x, será denominado *Payback*.

La **Figura 22** muestra la determinación del *payback* para el experimento 1 (es decir, para el proyecto con un caudal total de 250 BPD y un WTI de 50 USD). Se determinó para este caso que el *payback* del proyecto convencional sería al mes 19,9 y del proyecto *fast-moving* al 19,6 mes. Lo cual indica que el proyecto *fast-moving* se paga más rápido, y por lo tanto es más rentable.

Figura 22. Determinación del *Payback* (Experimento 1)



3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La **Tabla 17** muestra los resultados de los indicadores económicos para cada uno de los siguientes experimentos.

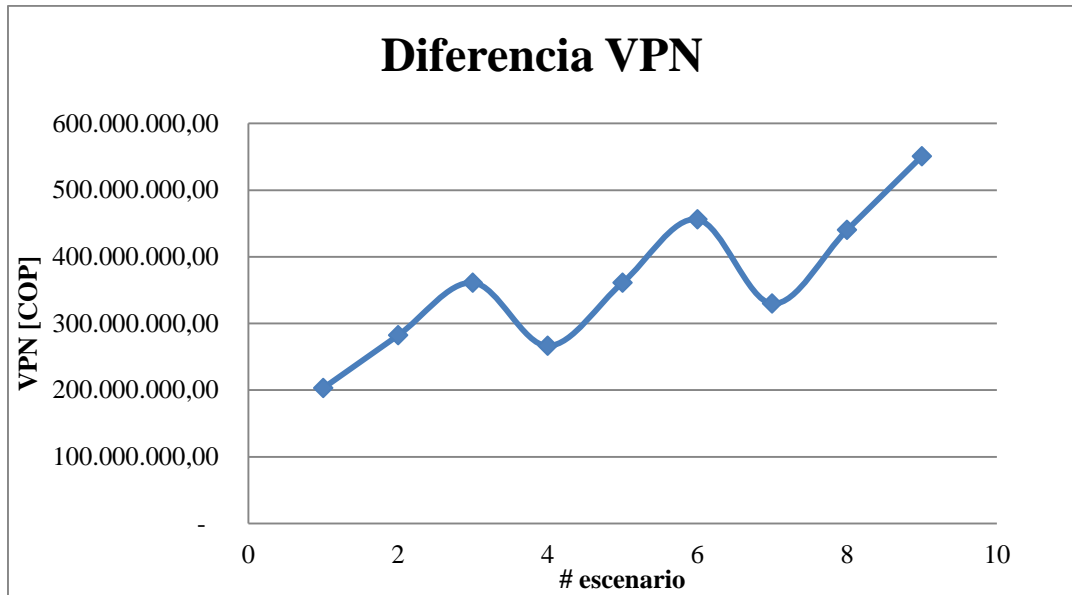
Tabla 17. Resultados indicadores económicos sistema convencional y *fast-moving*

Experimento	RCB (Conv)	RC B (FM)	VPN (Conv)	VPN (FM)	TIR (Conv)	TIR (FM)	PayBack Conv (Meses)	PayBack FM (Meses)
1	1,09	1,1	\$ 564.606.966,91	\$ 605.461.862,58	0,117	0,118	19,9	19,6
2	1,31	1,32	\$ 1.877.155.197,80	\$ 1.957.520.936,17	0,158	0,158	11,4	11,3
3	1,53	1,54	\$ 3.189.703.428,70	\$ 3.309.580.009,77	0,201	0,2	8,15	8,2
4	1,26	1,26	\$ 1.614.645.551,63	\$ 1.687.109.121,46	0,15	0,15	12,36	12,35
5	1,51	1,52	\$ 3.189.703.428,70	\$ 3.309.580.009,77	0,201	0,2	8,2	8,15
6	1,76	1,77	\$ 4.764.761.305,77	\$ 4.932.050.898,09	0,256	0,255	6,1	6,2
7	1,34	1,38	\$ 2.184.658.196,52	\$ 2.514.286.618,36	0,168	0,175	9,9	10,1
8	1,61	1,65	\$ 3.905.681.969,30	\$ 4.345.940.750,70	0,226	0,235	6,8	6,9
9	1,88	1,93	\$ 5.626.705.742,08	\$ 6.177.594.883,05	0,289	0,3	5,2	5,25

Tal y como se puede evidenciar en la tabla, los resultados indican que el proyecto *fast-moving* es ligeramente superior en todos los aspectos económicos a los proyectos convencionales, en todos los nueve diferentes escenarios de evaluación. En términos generales, las diferencias son más pronunciadas a medida que los escenarios de producción se vuelven más optimistas.

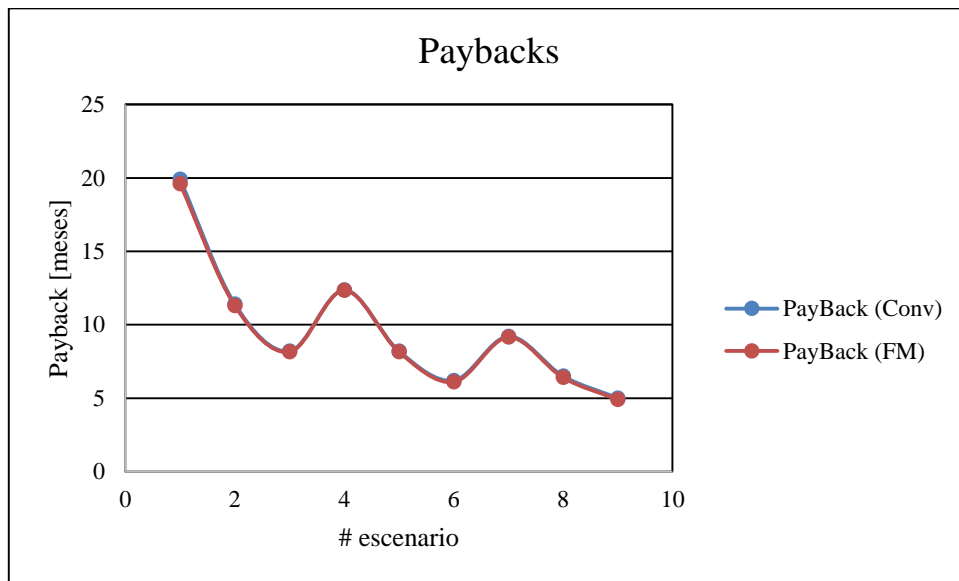
La **Figura 23** evidencia que las diferencias entre los valores presentes netos de los experimentos aumentan a medida que los escenarios son más optimistas. El escenario más pesimista tenía un saldo favorable de 200 millones de pesos hacia el proyecto de *fast-moving*, mientras que el más optimista tenía una diferencia de casi 550 millones de pesos a favor.

Figura 23. Diferencias entre VPN para diferentes experimentos



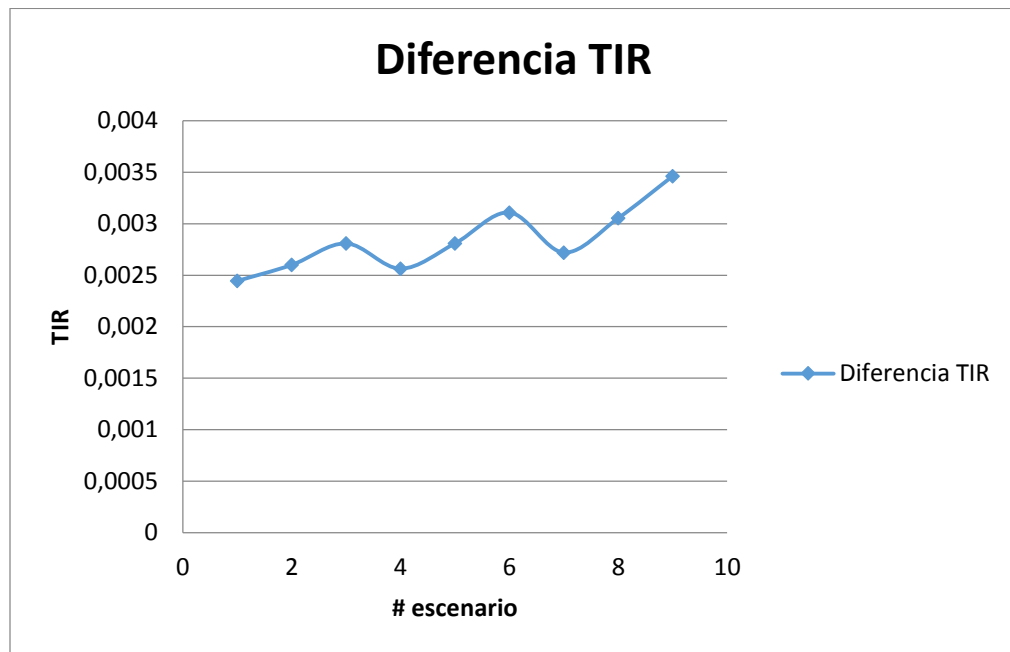
Las diferencias en los meses del retorno de la inversión (*payback*), a pesar de presentar la misma tendencia no son tan pronunciadas, aunque son ligeramente favorables hacia los proyectos *fast-moving*, como lo muestra la **Figura 24**.

Figura 24. *Paybacks* vs. Escenario para ambos proyectos.



Las diferencias de la tasa interna de retorno (TIR) siguen la misma tendencia del valor presente neto, tal y como lo puede evidenciar la **Figura 25**. La menor diferencia (en el experimento 1) es de 0,5%, mientras que la mayor diferencia (en el experimento 9) es de 1,1% las cuales corresponden al escenario más desfavorable y más favorable respectivamente.

Figura 25. Diferencia entre TIR para diferentes experimentos



Los sistemas *fast-moving* son sistemas más seguros, modernos, confiables y más veloces que los sistemas convencionales. Sin embargo, existe cierta reticencia del sector a implementarlo debido a sus comparativamente altos costos de arrendamiento y compra. Este análisis económico demuestra que pesar de los costos mayores en inversión y en operaciones, las disminuciones en tiempos no productivos de los pozos y en cantidad de equipos necesarios para su izamiento permiten no solo mitigar estos costos, sino hacer el proyecto más rentable a mediano y largo plazo.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RIESGOS DE LOS SISTEMAS *FAST-MOVING* CONTRA SISTEMAS CONVENCIONALES

Es necesario también evaluar el efecto del sistema *fast-moving* en la disminución de riesgos laborales. Es de esperarse una disminución efectiva de los riesgos y peligros debido a la facilidad con la que se realizan los procesos de movilización de este sistema con respecto al convencional, por la disminución del número de cargas totales, por la disminución del número de dichas cargas que deben ser izadas, el número de vehículos y herramientas que se deben utilizar para la movilización, y porque una reducción en los tiempos del proceso inherentemente se traduce en menor tiempo de exposición a posibles peligros.

No obstante se consideró necesario el desarrollo de un método que pudiera evaluar de manera objetiva dicho beneficio teniendo en cuenta todos los factores implicados en cada uno de los sistemas que pudieran dar lugar a situaciones de riesgo, razón por la cual se planteó el objetivo de este capítulo, que es el de demostrar la premisa inicial del *fast-moving* como proceso más seguro. Para esto se decidió seguir el procedimiento recomendado por la norma NTP 330 la cual ha sido utilizada para evaluar situaciones de riesgo en varias operaciones de *workover*⁸.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

El paso inicial para todo proceso de evaluación de riesgos es identificarlos y éste se basa con frecuencia en el conocimiento y experiencia de quien lo realiza, por lo que

⁸ BOHORQUEZ, Oscar Iván; CADENA, Martha Isabel. “Metodología para la evaluación de riesgos durante operaciones de *workover* y servicio a pozos”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2011.

es recomendable en estos pasos iniciales empezar por los métodos más sencillos según recomienda la norma NTP 330.

La identificación de riesgos parte de la práctica, mediante una tormenta de ideas⁹ donde se plasman los posibles riesgos que se puedan presentar en la operación de izamiento; y una vez identificados se procede a realizar su respectiva evaluación.

El objetivo del análisis de riesgos es comprobar el diseño global del proceso e ir en busca de las desviaciones del proceso que podrían ocasionar problemas producto de situaciones arriesgadas o de operatividad. Estos podrían incluir:

- Salud y seguridad ocupacional para los trabajadores,
- Daños a equipos
- Problemas de operatividad/Mantenimiento, entre otros...

Esta operación de izaje de equipos en sistemas de workover, tanto convencionales como de *fast-moving*, fue dividida en 3 etapas fundamentales: Carga, Transporte y Descarga. En la **Tabla 18** se pueden visualizar los riesgos identificados para el sistema convencional, y en la **Tabla 19** los respectivos riesgos para el sistema *fast-moving*.

4.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Luego de la identificación de los riesgos, se procede a su respectiva evaluación, la cual se hace en conformidad con la norma NTP 330 y las normas ISO 31000:2009. Mediante base de datos de estadísticas de accidentalidad de empresas prestadoras de servicios, se realizará la evaluación de los riesgos presentes en las operaciones de carga y descarga en locaciones de workover.

⁹ ISO 31010:2009 Annex B01

Este es un proceso dirigido a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo de esta manera la información necesaria para la toma de decisiones apropiadas sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas.¹⁰

Una vez identificados y analizados los riesgos, se procede a hacer la evaluación de riesgos presentes, para lo cual es necesario comprobar las deficiencias existentes al igual que el tiempo de exposición del trabajador a dichas deficiencias. Con esto se busca obtener la probabilidad de ocurrencia de accidentes. Por aparte se cuantifica el nivel de consecuencia, y el producto de la consecuencia con la probabilidad, otorga el valor del riesgo total. Esta sección explicará la metodología paso a paso, para poder evaluar el riesgo de manera satisfactoria.

Cabe aclarar que, en el sentido estricto de la palabra, en los sistemas fast-moving no se habla de una carga y una descarga, sino más bien de un enganche y desenganche. Sin embargo, para efectos comparativos, se utilizan los mismos términos, definiendo una operación de carga/descarga como el proceso mediante el cual los elementos necesarios son colocados/retirados de su lugar.

¹⁰ MORENO, José Joaquín, ROMERA, Juan Luis; Manual de Evaluación de Riesgos. Agueda Lahera Mexía; et al.

Tabla 18. Identificación de riesgos para sistemas convencionales

ACTIVIDAD	RIESGOS IDENTIFICADOS	PARAMETROS BAJO LOS CUALES OCURREN LOS RIESGOS	PARAMETROS QUE PERMITEN SU IDENTIFICACIÓN	MÉTODOS DE CONTROL
CARGA	<ul style="list-style-type: none"> 1. Caída de equipos desde la grúa 2. Volcamiento del equipo de Carga 3. Desprendimiento de la eslinga 4. Falla Mecánica de los vehículos implicados 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Fátiga de los cables. 2. Peso excesivo de la Carga. 3. Falta de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste visible en las eslingas y en los cables. 2. Movimientos anormales en los vehículos de izaje. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Revisión periódica de los equipos y herramientas. 2. Comunicación y charlas preoperacionales 3. Correcta Señalización del área
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> 1. Rompimiento de las cuerdas de seguridad que amarran la carga a la plataforma del vehículo 2. Volcamiento de la carga 3. Fallas mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Fatiga de los cables y movimiento excesivo durante el transporte. 2. Peso excesivo de la carga. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Movimiento anormal de la carga durante el transporte. 2. Desgaste visible de los cables. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Revisión periódica de los equipos y herramientas
DESCARGA	<ul style="list-style-type: none"> 1. Caída de equipos desde la grúa 2. Volcamiento del equipo de Carga 3. Desprendimiento de la eslinga 4. Falla Mecánica de los vehículos 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Fátiga de los cables. 2. Peso excesivo de la Carga. 3. Falta de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste visible en las eslingas y en los cables. 2. Movimientos anormales en los vehículos de izaje. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Revisión periódica de los equipos y herramientas. 2. Comunicación y charlas preoperacionales. 3. Correcta Señalización del área

Tabla 19. Identificación de Riesgos para Sistemas *Fast Moving*

ACTIVIDAD	RIESGOS IDENTIFICADOS	PARAMETROS BAJO LOS CUALES OCURREN LOS RIESGOS	PARAMETROS QUE PERMITEN SU IDENTIFICACIÓN	MÉTODOS DE CONTROL
CARGA	<ul style="list-style-type: none"> 1. Daño mecánico del pin de acople 2. Riesgo de atrapamiento 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste debido a antigüedad 2. Debido a manipulación de los pines de acople 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste visible en la quinta rueda 2. Procedimientos indebidos del operario 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento Oportuno, Correcta Señalización, Charlas Preoperacionales
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desenganche de la carga 2. Accidentes en la vía 3. Fallas Mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Movimiento excesivo durante el transporte. 2. Peso excesivo de la carga. 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Movimiento anormal de la carga durante el transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión periódica de los equipos y herramientas
DESCARGA	<ul style="list-style-type: none"> 1. Daño mecánico del pin de acople 2. Riesgo de atrapamiento 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste debido a antigüedad 2. Debido a manipulación de los pines de acople 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desgaste visible en la quinta rueda 2. Procedimientos Indebidos del operario 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento Oportuno, Correcta Señalización, Charlas Preoperacionales

4.2.1. Determinación del Nivel de Deficiencia

El nivel de deficiencia (ND) es la magnitud de la vinculación esperable entre el conjunto de factores de riesgo considerados y su relación causal directa con el posible accidente.¹¹ Los valores numéricos empleados en el cálculo del nivel de deficiencia para la evaluación de riesgos de esta metodología y su significado, se muestran en la **Tabla 20**.

¹¹ BOHORQUEZ, Oscar Iván; CADENA, Martha Isabel. “Metodología para la evaluación de riesgos durante operaciones de workover y servicio a pozos”. Trabajo de grado. 2011.

Tabla 20. Determinación del Nivel de Deficiencia (ND)

Descripción	ND	Nivel de Deficiencia
Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como muy posible la generación de incidentes, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula.	10	Muy Alto (MA)
Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficiencia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.	6	Alto (A)
Se han detectado peligros que pueden dar lugar a una(s) consecuencia poco significativa(s) o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambas.	2	Medio (M)
No se ha detectado anomalía destacable alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado	No se asigna valor	-

Fuente: Cuadro 5.1 original de Norma NTP 330

Tomando como base la jerarquización anteriormente establecida, y junto con la información recopilada de las bases de datos, se determinó el nivel de deficiencia de cada riesgo para cada unidad de workover. La **Tabla 21** muestra los resultados para el sistema convencional, mientras que la

Tabla 22 muestra los resultados para el fast-moving.

Tabla 21. Determinación del nivel de Deficiencia para el Sistema Convencional

Operación	Riesgo a evaluar	Nivel de Deficiencia	Consecuencias del Proceso	% ND
CARGA	1. Caída de equipos desde la grúa	6	6	60
	2. Volcamiento del equipo de Carga	10		
	3. Desprendimiento de la eslinga	6		
	4. Falla Mecánica de los vehículos implicados	2		
Operación	Riesgo a evaluar	Nivel de Deficiencia	Consecuencias del Proceso	% ND
TRANSPORTE	1. Rompimiento de las cadenas de seguridad que amarran la carga a la plataforma del vehículo	10	7,33	73,33
	2. Volcamiento de la carga	10		
	3. Fallas mecánicas	2		
DESCARGA	1. Caída de equipos desde la grúa	6	6	60
	2. Volcamiento del equipo de Carga	10		
	3. Desprendimiento de la eslinga	6		
	4. Falla Mecánica de los vehículos implicados	2		

Tabla 22. Determinación del nivel de Deficiencia para el Sistema *Fast Moving*

	Descripción	Nivel de Deficiencia	Consecuencias del Proceso	% Consecuencias
CARGA	1. Daño mecánico del pin de acople	2	4	40
	2. Riesgo de atrapamiento	6		
TRANSPORTE	1. Desenganche de la carga	10	6	60
	2. Accidentes en la vía	6		
	3. Fallas Mecánicas	2		
DESCARGA	1. Daño mecánico del pin de acople	2	4	40
	2. Riesgo de atrapamiento	6		

4.2.2. Estimación del Nivel de Exposición (NE) del Puesto de Trabajo a la Situación de Riesgo

Es una medida de la frecuencia con la que se produce la exposición al riesgo en el puesto de trabajo en cuestión. Para este trabajo se procedió a evaluar la estimación del nivel de exposición con base en las estadísticas obtenidas, y tras un análisis de la accidentalidad observada en las actividades de campo se cuantificó un nivel de exposición para cada riesgo. Los fundamentos para determinar el nivel de exposición se mencionan en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Determinación del Nivel de Exposición (NE)

Nivel de Exposición		
Nivel de Exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado
Frecuentemente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral aunque sea en tiempos cortos
Ocasionalmente (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y con periodo corto de tiempo
Esporadicamente (E)	1	Irregularmente

Fuente: Cuadro 5.2 Original de Norma NTP 330

Esta evaluación se debe hacer tanto a las fases en general como a cada uno de los trabajadores por separado, tomando promedios y porcentajes de exposición a cada una de estas variables. La **Tabla 24** muestra los resultados del nivel de exposición para los sistemas convencionales, mientras que la **Tabla 25** hace lo propio para sistemas *fast-moving*.

Tabla 24. Determinación del Nivel de Exposición para Sistemas Convencionales

Proceso de Movilización <i>workover</i>																	
Nivel de exposición al peligro																	
Cargo Empleado	C	F	O	I	R	C	F	O	I	R	C	F	O	I	R	TOTAL	% Exposición por Trabajador
	10	6	3	2	1	10	6	3	2	1	10	6	3	2	1		
	Carga					Transporte					Descarga						
Conductor Carromacho		6										6				4	40,0
Engachador	10										10					6,6667	66,7
Operario Grúa		6										6				4	40,0
Conductor Camabaja			3			10							3			5,3333	53,3
Sub totales	10	12	3	0	0	10	0	0	0	0	10	12	3	0	0		
TOTALES	25					10					25						
TOTAL PROCESO	6,25					2,5					6,25						
%Exposición por Operación	62,5					25					62,5						

Tabla 25. Determinación del Nivel de Exposición para Sistemas *Fast Moving*

Proceso de movilización <i>workover</i>																	
Nivel de exposición al peligro																	
Cargo Empleado	C	F	O	I	R	C	F	O	I	R	C	F	O	I	R	TOTAL	% Exposición por Trabajador
	10	6	3	2	1	10	6	3	2	1	10	6	3	2	1		
	Carga					Transporte					Descarga						
Conductor Cabezote		6				10						6				7,3333	73,3
Supervisor		6										6				4	40,0
Sub totales	0	12	0	0	0	10	0	0	0	0	0	12	0	0	0		
TOTALES	12					10					12						
TOTAL PROCESO	6					5					6						
%Exposición por Operación	60					50					60						

A partir de estos índices de determinación, ya se puede observar que los sistemas *fast-moving* son más seguros, debido a que las operaciones son más sencillas y se

reduce el número de empleados en la locación, empleados que en el sistema convencional están expuestos a cualquier tipo de incidentes. Hay que recordar que la caída de elementos de los carro grúas ha constituido históricamente una fuente de mortalidad considerable en la industria del petróleo.¹²

4.2.3. Determinación del Nivel de Probabilidad (NP)

El nivel de probabilidad se calcula como el producto de ND*NE. El resultado numérico se puede categorizar en cuatro diferentes niveles, los cuales se enumeran en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Determinación del Nivel de Probabilidad (NP)

NIVEL DE PROBABILIDAD	NP	SIGNIFICADO
MUY ALTA (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia
ALTA (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral.
MEDIA (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
BAJA (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Fuente: Cuadro 5.4 original de Norma NTP 330.

¹² SPE PAPER 46786. McMorran P. Training for Safe and Efficient Lifting Operations. 1997.

Los resultados de los productos entre el nivel de deficiencias y el nivel de exposición (ND*NE), se muestra en la **Tabla 27** para sistemas convencionales y en la **Tabla 28** para los sistemas *fast-moving*. En general se puede observar que los riesgos son significativamente altos para los sistemas convencionales, ya que se encuentran catalogados en las últimas categorías (A y MA), mientras que para los sistemas *fast-moving* se encuentran en categorías más intermedias

Tabla 27. Cálculo del Nivel de Probabilidad para Sistema Convencional

ETAPA	NIVEL DE DEFICIENCIA	NIVEL DE EXPOSICIÓN	TOTAL (%Np)
CARGA	6	6,25	37,5
TRANSPORTE	7,333333333	2,5	18,33333
DESCARGA	6	6,25	37,5

Tabla 28. Cálculo del Nivel de Probabilidad para Sistema *Fast Moving*

ETAPA	NIVEL DE DEFICIENCIA	NIVEL DE EXPOSICIÓN	TOTAL (%Np)
CARGA	4	6	24
TRANSPORTE	6	5	30
DESCARGA	4	6	24

Cabe destacar que el nivel de probabilidad del transporte en el sistema *fast-moving* es mayor, pero no debido a que se hayan identificado más y peores riesgos, sino debido a que la exposición es mayor, ya que en la operación se involucran menos individuos, y el promedio de exposición aumenta.

4.2.4. Determinación del Nivel de Consecuencias (NC)

El nivel de consecuencia cuantifica los efectos que podría tener la materialización del riesgo. Para este cálculo el método considera cuatro niveles de consecuencia, distinguiendo entre daños personales y materiales, con base en la norma NTP 330.

En la **Tabla 29** se encuentra la clasificación y explicación de los niveles de consecuencias.

Tabla 29. Determinación del Nivel de Consecuencia (NC)

DESCRIPCIÓN	NIVEL
Catástrofe: Numerosas víctimas o daños superiores al 90% del capital	100
Varias Muertes o daños del 50-89% del capital	50
Una muerte y/o daños del 10-49% del capital	25
Lesiones extremadamente graves: amputaciones, invalidez permanente, daños del 1-9% del capital	15
Lesiones con incapacidad, daños hasta del 1%	5
Pequeñas heridas, contusiones, pequeños daños	1

Fuente: Cuadro 5.5 original de Norma NTP 33.

La **Tabla 30** muestra la determinación del nivel de consecuencia de los riesgos asociados al sistema convencional, los cuales son significativamente altos en comparación a los de los sistemas *fast moving*, los cuales se encuentran en la **Tabla 31**.

Tabla 30. Determinación del Nivel de Consecuencia (NC) para Sistemas Convencional

Etapa	Riesgo a evaluar	Nivel de Consecuencia	% Consecuencia
CARGA	1. Caída de equipos desde la grúa	50	20,25
	2. Volcamiento del equipo de Carga	25	
	3. Desprendimiento de la eslinga	5	
	4. Falla Mecánica de los vehículos implicados	1	
TRANSPORT E	1. Rompimiento de las cuerdas de seguridad que amarran la carga a la plataforma del vehículo	25	17
	2. Volcamiento de la carga	25	

Etapa	Riesgo a evaluar	Nivel de Consecuencia	% Consecuencia
	3. Fallas mecánicas	1	
DESCARGA	1. Caída de equipos desde la grúa	50	20,25
	2. Volcamiento del equipo de Carga	25	
	3. Desprendimiento de la eslinga	5	
	4. Falla Mecánica de los vehículos implicados	1	

Tabla 31 Determinación del Nivel de Consecuencia (NC) para Sistemas *Fast Moving*

Operación	Riesgo a Evaluar	Nivel de Consecuencia	% Consecuencia
CARGA	1. Daño mecánico del pin de acople	5	10
	2. Riesgo de atrapamiento	15	
TRANSPORTE	1. Desenganche de la carga	25	7
	2. Accidentes en la vía	25	
	3. Fallas mecánicas	1	
DESCARGA	1. Daño mecánico del pin de acople	5	10
	2. Riesgo de atrapamiento	15	

4.2.5. Determinación del Nivel de Riesgo (NR)

Se determina como el producto de $ND \cdot NE \cdot NC$, o como el producto de $NP \cdot NC$. Se le asigna una prioridad de intervención cuyo significado se muestra en la **Tabla 32**, y cuya clasificación está basada en los niveles de deficiencia, exposición, probabilidad y consecuencias encontrados anteriormente. La clasificación de estos valores de riesgos se puede ver en la **Tabla 33**.

Tabla 32. Significado de Niveles de Intervención de Riesgo.

NIVEL DE INTERVENCIÓN	NR	SIGNIFICADO
I	4000-600	Situación Crítica. Corrección Urgente.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique.

Fuente: Cuadro 7.2 en NTP 330

Tabla 33. Determinación del Nivel de Riesgos (NR)

		Nivel de Probabilidad			
		40-24	20,,10	08,,06	04,,02
Nivel de Consecuencias (MC)	100	I. 4000-2400	I 2000-1200	I. 800-600	II. 4200
	60	I 2400 -1440	I 1200-600	II 480-360	ii 240 / III 120
	25	I 1000-600	II 500-250	II. 200-150	III. 100-50
	10	II 400-240	II. 200	III. 80-5	III. 40

Fuente: Cuadro 7.1 en NTP 330

Por último se procede a hacer el análisis de riesgos de la unidad convencional, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Riesgo Total para Sistemas Convencionales

ETAPA	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	TOTAL (RIESGO)	NIVEL
CARGA	37,5	20,25	759,375	I
TRANSPORTE	18,33333333	17	311,6667	II
DESCARGA	37,5	20,25	759,375	I

Estos resultados muestran claramente un sistema totalmente riesgoso, en el cual se compromete la vida de quienes lo operan y el capital de la empresa. El promedio del riesgo es de 610.14. Este análisis concuerda con la realidad que se observa en campo, en los cuales los carro machos han sido utilizados inapropiadamente para la carga y descarga de unidades de workover, o en ocasiones en las que se ha caído la carga, siendo un ejemplo de esto la **Figura 26**.

Figura 26. Malas Prácticas de Cargue y Descargue en Sistemas Convencionales



La **Tabla 35** muestra los riesgos totales pero para el sistema *fast-moving*, y la diferencia es notoria, debido a que los riesgos se han podido disminuir dos y tres

niveles en la clasificación general. El promedio de riesgo cayó a 230, dando una reducción de riesgo total del 62%. Por lo cual se puede afirmar que los sistemas *fast-moving* son significativamente menos riesgosos para la integridad del capital y la vida humana que labora en los campos petroleros de Colombia.

Tabla 35. Riesgo total para sistemas *fast-moving*

ETAPA	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	TOTAL (RIESGO)	NIVEL
CARGA	24	10	240	III
TRANSPORTE	30	7	210	II
DESCARGA	24	10	240	III

5. CONCLUSIONES

- Al obtener los resultados del análisis técnico-económico se pudo evidenciar una favorabilidad de los indicadores económicos hacia el sistema *fast-moving* la cual se mantendrá e irá en aumento a medida que mejoran las condiciones de producción del proyecto.
- Los tiempos de izaje y cargue de las unidades *workover* del caso aplicado se vieron reducidos de 16,06 horas a tan solo 10 horas debido al uso de unidades *fast-moving*, lo que se traduce en una reducción del 47,5% en los tiempos no productivos de los pozos.
- El análisis de riesgos realizado en el capítulo 4 arrojó una reducción total de los riesgos asociados a la movilización de equipos *convencionales* de un 62% con respecto al sistema *fast moving*. Demostrando así que las operaciones de movilización usando este sistema resultan ser significativamente menos riesgosas para la integridad del capital y la vida humana.
- Por todo lo anterior puede concluirse que la implementación de sistemas *fast-moving* representa beneficios significativos no sólo en optimización de tiempos de movilización sino también en disminución de riesgos operacionales, además de ser económicamente rentable, lo que reafirma su recomendación de uso en operaciones de *workover*.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un enfoque más exhaustivo del beneficio de unidades *fast-moving* en la optimización del espacio disponible en la locación de pozos de *workover*.
- Reproducir el mismo experimento en locaciones de menor tamaño como operaciones de *well services*, ya que se espera que el beneficio económico aumente al aumentar la cantidad de servicios realizados durante el año.
- Realizar el análisis económico teniendo en cuenta campos con un mayor número de pozos y con escenarios de producción más realistas, los cuales declinen con el tiempo y sean mejorados mediante las operaciones de *workover* respectivas.
- Replicar el experimento en un panorama diferente, en el cual todas las unidades sean arrendadas.

BIBLIOGRAFÍA

ANSI/ITSDEF B56.1. Safety Standard for Low Lift and High Lift Trucks. 2009.

ASME B30.10. Hooks, Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings

ASME B30.3. Tower Cranes, Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings. 2004.

ASME B30.5. Mobile and Locomotive Cranes, Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings. 2000

BOHORQUEZ, Oscar; CADENA, Martha. “Metodología para la evaluación de riesgos durante operaciones de workover y servicio a pozos”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2011.

BUCHANAN, R., et al. A Cost-Effective Rig Moving. En SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers, 1987.

Ecopetrol S.A., Anexo 4: condiciones técnicas de ejecución de los trabajos para la superintendencia de operaciones del río que tiene por objeto obras de reacondicionamiento de pozos bajo el esquema de operación de equipos de workover de propiedad de Ecopetrol S.A. URL: <http://contratos.ecopetrol.com.co/Anexos%20de%20Procesos/50019898/ANEXO%204%20CONDICIONES%20TECNICAS%20EQUIPOS%20SOR%20%20REV%201.pdf>, accedido el 13 de abril de 2013

ECOPETROL S.A., Procedimiento para el Levantamiento Mecánico de Cargas en Ecopetrol S.A. Versión 3, 2012.

FILIZZOLA ARZUAGA, Rosa Paulina. “Análisis probabilístico de los tiempos de operación de los equipos de workover y varilleo del campo casabe para optimizar el factor de servicio utilizando la herramienta openwells”. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2011.

Independence, Logística para el desarrollo - Caso de Fast Move en Independence SA URL: <http://www.compitem.com.co/site/wp-content/uploads/2012/07/Independence.docx>, accedido el 13 de abril de 2013.

ISO 31010:2009 Annex B01

JS SERVIPETROL S.A. Gestión de Operaciones Propuesta Comercial Productos JS SERVIPETROL LTDA. Cotización. 6 de septiembre de 2011.

MCMORRAN, Paul, et al. Training for Safe and Efficient Lifting Operations. EnSPE International Conference on Health Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Society of Petroleum Engineers, 1998.

MONCADA TOVAR, Diego Mauricio. “Mejoramiento de planes de mantenimiento preventivo para equipos de workover de la empresa Independence S.A”. Monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014.

MORENO, José Joaquín, ROMERA, Juan Luis; Manual de Evaluación de Riesgos. Agueda Lahera Mexía; et al.

NTP 330. Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgos de Accidente.

RABIER, J. P., et al. Land Rig Move Between Central Asia (Kazakhstan) And Eastern Europe (Romania). En SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers, 1996.

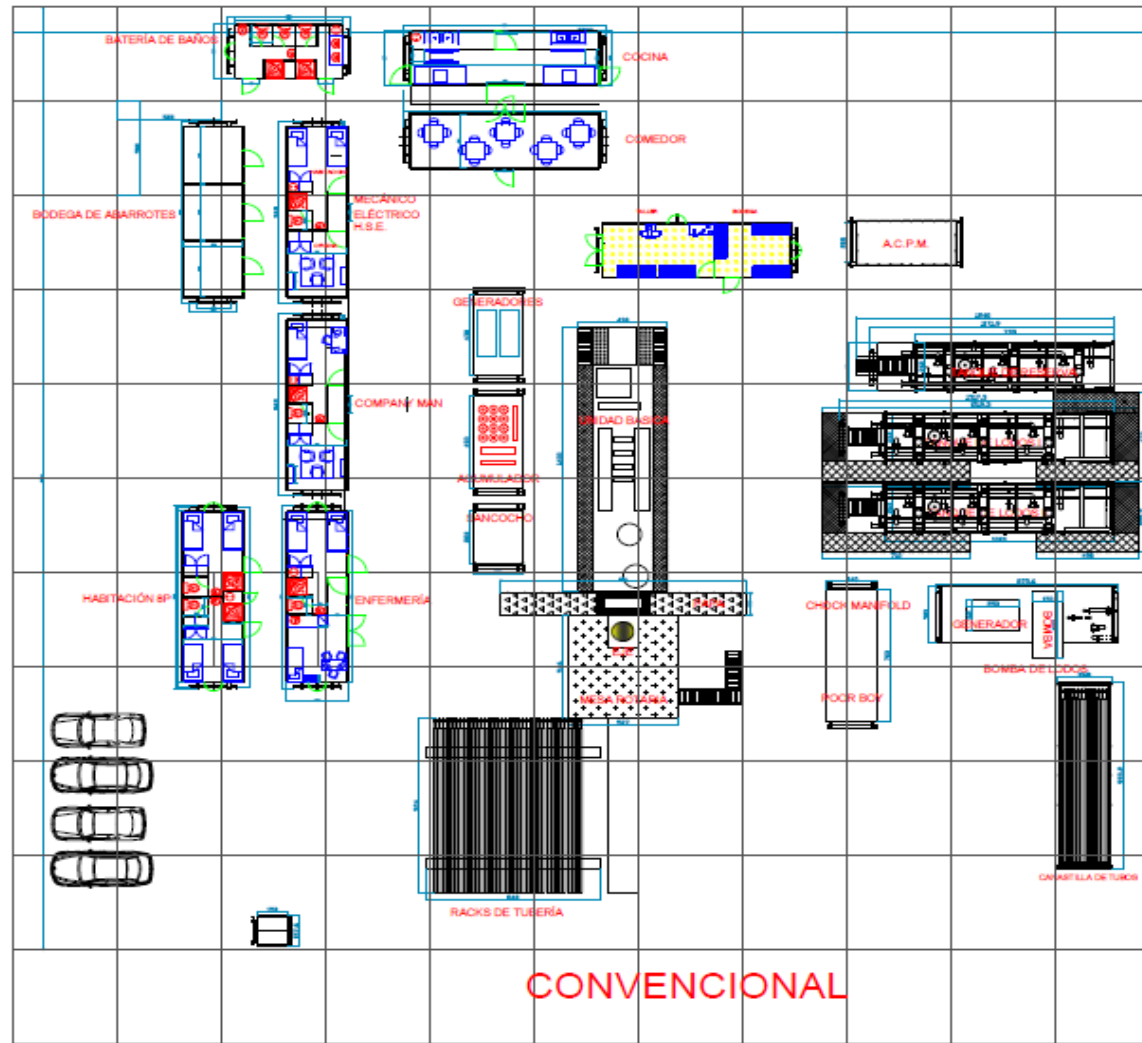
RODRIGUEZ, Alba Enith. “Estudios de control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el campo Apiay y Castilla la Nueva”. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2008.

SCHAEFFER, P. H., et al. Fast Tracking to a Quality Operation. En SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers, 1994.
SPE PAPER 46786. McMorrán P. Training for Safe and Efficient Lifting Operations. 1997.

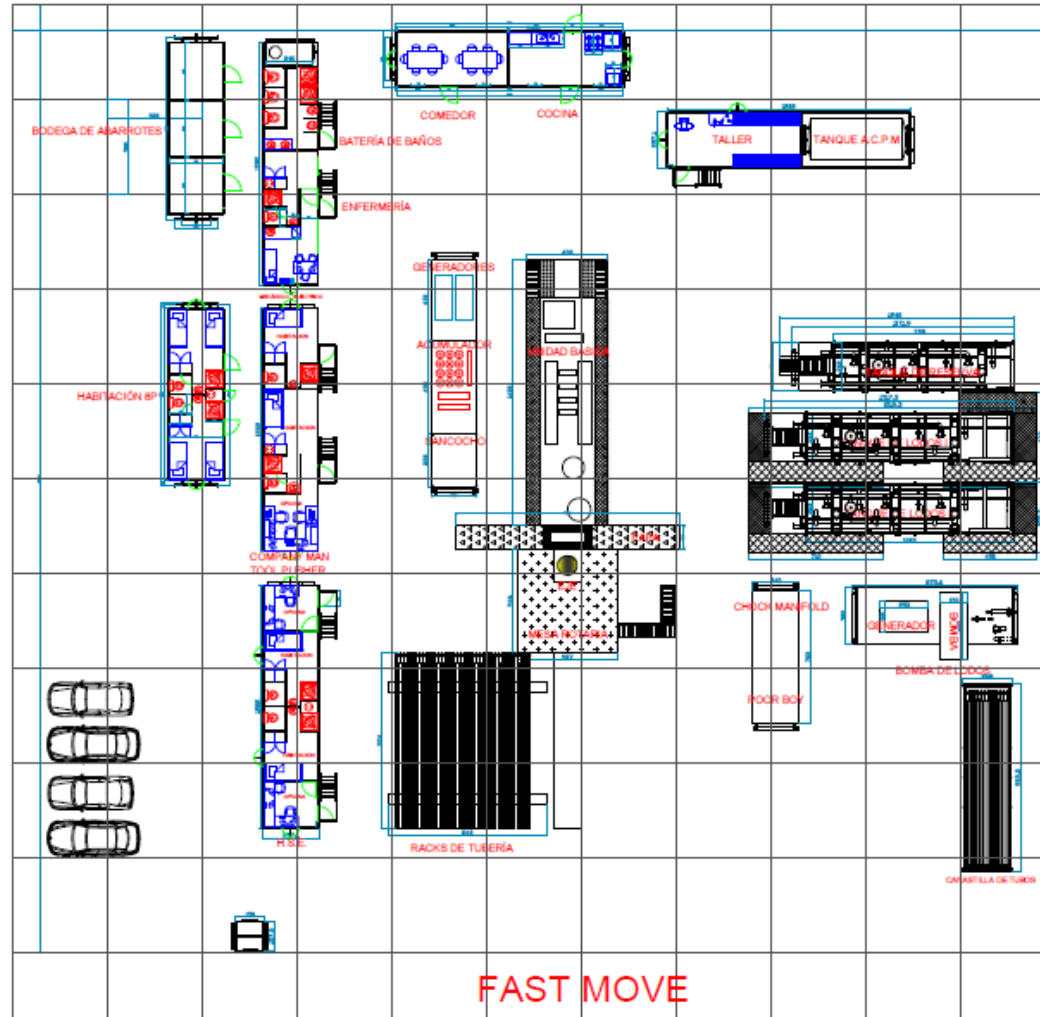
VERGARA, José. García, Gabriel. “Gestión de mantenimiento para equipos de workover de la empresa STS de los Andes S.A”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2010.

ANFXOS

ANEXO A. LAYOUT DE UN POZO DE *WORKOVER* CONVENCIONAL.



ANEXO B. LAYOUT DE UN POZO DE WORKOVER CON EQUIPOS TIPO FAST-MOVING



ANEXO C. CALCULO DE LOS TIEMPOS NO OPERATIVOS POR SISTEMA

- SISTEMA CONVENCIONAL**

#	CARGA	Promedio							Tiempos de Uso de Equipos de Transporte						
		Conteo Eq. Req.					Cargu e	Desc argu	TOTAL	UB	G	CM	CA	CB	CG
		UB	G	CM	CA	CB									
1	UNIDAD BASICA DE TORRE	1					2	2,5	4,5	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA		1			1	2	3	5	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00
3.A	VIGA PAPA			1	1		0,48	0,48	0,96	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
3.B	PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS			1	1		0,585	0,59	1,17	0,00	0,00	1,17	1,17	0,00	0,00
4	CASETA COMPANY MAN			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
5	CASETA TOOL PUSHER / HSEQ / MEC. Y ELEC.			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
6	CASETA COMEDOR / ROLL DIARIO / OFICINAS			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
7	ENFERMERÍA			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
8	COCINA GALVANIZADA			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
9	BATERIA DE BAÑOS			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
10	HABITACIONES DOBLES EXTRA			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
11	BODEGA DE ABARROTÉS			1	1		0,75	0,78	1,53	0,00	0,00	1,53	1,53	0,00	0,00
12	CHOKE MANIFOLD			1	1		0,46	0,46	0,92	0,00	0,00	0,92	0,92	0,00	0,00
13	SEPARADOR O POOR BOY			1	1		0,46	0,46	0,92	0,00	0,00	0,92	0,92	0,00	0,00
14	TANQUE # 1			1	1		0,69	0,69	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00
15	TANQUE # 2			1	1		0,69	0,69	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00
16	TANQUE # 3			1	1		0,69	0,69	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	1,38	0,00
17	BOMBA DE LODOS			1	1		0,48	0,48	0,96	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
18	PLANTA ELECTRICA (2 UNIDADES)			1	1		0,5	0,5	1	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
19	TANQUE DE ACPM			1	1		0,5	0,5	1	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
20	ACUMULADOR			1	1		0,48	0,48	0,96	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
21	CAJA DE HERRAMIENTAS (SANCOCHO)			1	1		0,5	0,5	1	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
22	PUNTO ECOLOGICO					1	0,458	0,46	0,915	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
23	CANASTA DE TUBERIA			1	1		0,48	0,48	0,96	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
24	CASETA DEL SOLDADOR / TALLER			1	1		0,48	0,48	0,96	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
25	CARGADOR					1	0,438	0,44	0,875	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00
26	HERRAMIENTAS MENORES (REGUERO)					1	2,75	2,75	5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50
27	TOTAL						21,11	22,8	43,955	4,5	5	27,165	20,13	12,915	6,415

Cantidades Según Equipo						
Mínimo	1	1	2	2,00	3	1
Tiempos Reales	4,5	5	13,583	10,06	4,305	6,415
Simultaneos	No	Si	Si	Si	Si	Si
Tiempos a sumar (Secuenciales)	4,5	0	13,583	0	0	0
TOTAL FINAL	18,08	Hrs				
Tiempo Operación	72,00	Hrs				
Tiempo No Productivo	90,08	Hrs				
Tiempo No Productivo (Días)	3,753	Días				

• **SISTEMA FAST MOVING**

#	CARGA	Promedio							Tiempos de Uso de Equipos de Transporte								
		Conteo Eq. Req.						T. Cargue	T. Descargue	TOTAL							
		UB	G	CM	CA	CB	CG	CZ	(hr)		(hrs)	UB	G	CM	CA	CB	CG
1	UNIDAD BASICA DE TORRE	1						1,5	2	3,5	3,5	0	0	0	0	0	0
2	MESA ROTARIA / SUBESTRUCTURA		1			1		2	3	5	0	5	0	0	5	0	0
3.A	VIGA PAPA			1	1			0,5	0,5	1	0	0	1	1	0	0	0
3.B	PLANCHADA DE TUBERIA Y RACKS			1	1			0,5	0,5	1	0	0	1	1	0	0	0
4	CASETA COMPANY MAN / Tool Pusher						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
5	CASETA ROLL DIARIO / OFICINAS / HSEQ MEC Y ELECTR.						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
6	ENFERMERÍA						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
7	COCINA GALVANIZADA / COMEDOR						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
8	BATERIA DE BAÑOS						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
9	HABITACIONES DOBLES EXTRA						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
10	BODEGA DE ABARROTÉS						1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4
11	CHOKE MANIFOLD + SEPARADOR (POOR BOY)			1	1			0,5	0,5	1	0	0	1	1	0	0	0
12	TANQUE # 1						1	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	1
13	TANQUE # 2						1	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	1
14	TANQUE # 3						1	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	1
15	BOMBA DE LODOS						1	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	1
16	PLANTA ELECTRICA + ACUMULADOR + CAJA HERRAMIENTAS						1	0,25	0,25	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5
17	TANQUE DE ACPM						1	0,25	0,25	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5
18	CANASTA DE TUBERIA			1	1			0,5	0,5	1	0	0	1	1	0	0	0
19	CASETA DEL SOLDADOR / TALLER + PUNTO ECOLOGICO						1	0,25	0,25	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5
20	CARGADOR					1		0,5	0,5	1	0	0	0	0	1	0	0
21	HERRAMIENTAS MENORES (REGUERO)					1		3	3	6	0	0	0	0	0	6	0
21	TOTAL							13,15	14,65	27,8	3,5	5	4	4	6	6	8,3

Cantidades Según Equipo Mínimo							1	1	1	1	1	1	4
Tiempos Reales de Cargue + Descarg.							3,5	5	4	4	6	6	2,075
Simultaneos							No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tiempos a sumar (Secuenciales)							3,5				6		
TOTAL FINAL							9,5	Hrs					
Tiempo de Operación							72	Hrs					
Tiempo No Productivo							81,5	Hrs					
Tiempo No Productivo (Días)							3,395833	Días					