

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO OPERACIONAL EN LA BAJADA DE TUBERÍA
PARA UN TALADRO DE WORKOVER.**

**MATEO DÍAZ SÁNCHEZ
JULIÁN VENEGAS GONZALEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C
2023**

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Ing. Nelson Fernández Barrero

Bogotá D.C. febrero de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dra. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. Juan Carlos Rodríguez Esparza

Las Directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios o ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

“Los ganadores nunca se rinden, y los que se rinden nunca ganan”

-Vince Lombardi

Agradezco a la vida, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por poner en mi camino cada persona que me ha rodeado.

A mis padres, por qué me han dado el mejor regalo, el conocimiento.

A Independence Drilling S.A. por la confianza brindada en este proyecto, en especial a los ingenieros Sergio Pimiento, Juan Mendoza y Sebastián Plata, por todo el apoyo brindado.

MATEO DÍAZ SÁNCHEZ

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios que me ha puesto en el camino correcto y demostrármelo día a día, acompañándome a cumplir mis metas propuestas de una manera coherente y con excelencia

A mi madre Angela Gonzalez, mi padre Roberto Venegas y mis hermanos que gracias sus esfuerzos soy cada día mejor y nunca me han dejado desfallecer

Me gustaría agradecer a mis maestros, compañeros, colegas y amigos que formaron parte de esta etapa en mi vida, hacerle una mención a la ingeniera Isabella Osorio.

Al coautor de este proyecto y amigo Mateo Diaz con quien fue un honor trabajar a su lado.

Por último, a la empresa colombiana Independence la cual deposito su confianza en nosotros para realizar este trabajo, de la mano de Juan Mendoza y Sebastián Plata.

JULIAN VENEGAS GONZALEZ

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de antemano a Independence Drilling S.A. por la confianza brindada en el presente proyecto, especialmente a los ingenieros Sergio pimiento, Juan Mendoza y Sebastián Plata, por todo el apoyo brindado. A la Universidad de América por ser nuestra alma mater y brindarnos las herramientas necesarias para llevar a cabo el óptimo desarrollo del presente proyecto. En general a todos los que hicieron parte durante este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. Equipos de perforación y <i>Workover</i>	17
1.1.2. <i>Uso de los equipos de Workover</i>	17
1.1.3. <i>Bajada de tubería</i>	18
1.1.4. <i>Equipo de investigación</i>	18
1.1.6. <i>Bases teóricas fundamentales</i>	22
2. METODOLOGÍA Y DATOS	24
2.1. Información técnica de los equipos	27
2.2. Proceso RIH	31
2.3. Freno Hidromático	33
2.3.1. <i>Instalación del freno hidromático de forma directa</i>	33
2.3.2. <i>Instalación del freno hidromático de forma indirecta</i>	33
2.3.3. <i>Calculo volumétrico</i>	34
2.3.4. <i>Observaciones</i>	35
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	38
3.1. Modelo de operación	38
3.1.1. <i>Perfil de profundidad de la sarta</i>	38
3.1.2. <i>Perfil de carga en el gancho</i>	40
3.1.3. <i>Perfil de velocidad en el bloque en el bloque viajero</i>	41
3.2. Identificación del problema	42
3.3. Planteamiento de soluciones	44
4. CONCLUSIONES.	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS.	52

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Plano unidad <i>Loadcraft</i> 550.	19
Figura 2. Freno hidromático.	20
Figura 3. Sistema de frenado.	21
Figura 4. Sistema de poleas, equipos de perforación	22
Figura 5. Metodología de trabajo.	25
Figura 6. Esquema de la placa de la torre.	30
Figura 7. Cálculos para el dimensionamiento del	34
Figura 8. Profundidad vs tiempo	41
Figura 9. Carga en el gancho vs tiempo	42
Figura 10. Velocidad del bloque vs tiempo	43
Figura 11. Problemática temperatura vs tiempo.	45

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Relaciones teóricas de acuerdo con el	21
Tabla 2. Modelo ideal de operación.	30
Tabla 3. Características del Carrier.	30
Tabla 4. Características del malacate.	31
Tabla 5. Características del motor de unidad básica.	31
Tabla 6. Características del bloque viajero.	32
Tabla 7. Procedimiento modelo experimental.	32
Tabla 8. Características para la activación.	34
Tabla 9. Resultado de análisis realizado	35
Tabla 10. Datos requeridos para realizar los cálculos necesarios	38
Tabla 11. Detalle de la tubería.	40
Tabla 12. Problemática encontrada en el sistema de bajada	43

LISTA DE ABREVIATURAS

WO	<i>Workover.</i>
API	<i>American Petroleum Institute.</i>
HP	<i>Horse Power</i> (Caballos de fuerza).
W	Peso total levantado (Lb).
NPT	<i>Non productive time</i> (Tiempo no productivo).
°	Grados.
KLBS	Kilo Libras.
Rpm	Revoluciones por minuto.
D	Profundidad del pozo (Ft).
POOH	<i>Put Out of Hole</i> (Sacada tubería del pozo).
RIH	<i>Running in hole</i> (Bajada de tubería al pozo).

RESUMEN

Las operaciones de bajada de tubería al pozo, son de los procedimientos de mayor importancia para los equipos *Workover*, debido a que sus tiempos de ejecución dentro del programa del pozo representan un gran porcentaje; en adición, estas operaciones exigen al máximo los componentes del equipo, siendo una de las principales causantes de desgastes, daños a los equipos y riesgos al personal, además de tener consecuencias directas con el costo de las operaciones. [1]

En este documento se presenta el proceso llevado a cabo para la estandarización de tiempos de extracción e inserción de tubería del proceso *Workover* de la empresa colombiana Independence; con el fin de mejorar la producción de hidrocarburos, el ciclo de vida de un pozo y sus respectivos equipos. Para la industria petrolera la mejor opción es realizar un mantenimiento adecuado y la reparación de dicho pozo para obtener como resultado una mejor vida productiva y una menor inversión, por tal razón se da la necesidad de monitorear e identificar los posibles fallos para poder realizar la respectiva planificación y óptima ejecución de las operaciones.

Se debe estudiar el procedimiento desde la planificación hasta la ejecución del mismo. Se observó que los reacondicionamientos realizados son correctivos, obteniendo el primer punto para optimizar el proceso, realizando propuestas de reacondicionamientos de pozos en los que se estima mejorarían su producción o disminuirían su continuo fallo.

En la industria *Oil and gas*, siempre existen grandes costos para las empresas operadoras y prestadoras de servicios. En este caso para la prestadora de servicios de *Workover* y perforación *INDEPENDENCE DRILLING S.A.*, es primordial extender la vida útil de sus equipos, asimismo, tener en excelente estado sus componentes para evitar tiempos no productivos (NPT). De igual forma, para las compañías contratantes (ECOPETROL, SIERRACOL, HOCOL, CEPESA, etc) es importante el desempeño operacional de sus contratistas, para poder cumplir y/o mejorar los programas de pozos y buscar la sostenibilidad de las empresas. Por lo que se sugiere el desarrollo de buenas

prácticas operacionales

La intención del presente documento es llevar a cabo la estandarización de la inserción de la tubería al pozo en un taladro de *Workover* (*Loadcraft* 550 Hp). Los diferentes factores pueden generar diferencias significativas en la operación. Uno de los parámetros a seguir es la posición inicial y la paridad del frenado. Se analizará el sistema de frenado y su respectiva efectividad a la hora de bajar tubería para poder plantear y proyectar posibles soluciones que permitan la mayor eficiencia técnica, económica y operacional del proceso de reacondicionamiento de pozos

Palabras clave: Workover, tiempos LPT, tiempos ILT, NPT, estandarización.

INTRODUCCIÓN

Independence Drilling S.A. es una compañía colombiana que presta servicios integrales para la perforación, mantenimiento y reacondicionamiento de pozos de petróleo y gas; así mismo, ofrece soluciones integrales para la extracción y manejo de agua subterránea, tratamientos de agua, consultoría en gestión integral del recurso hídrico y la perforación de pozos estratigráficos para minería e hidrocarburos, la compañía genera valor con sus grupos de interés, y es un garante de reputación para sus clientes. *Independence* desarrolla soluciones, innovadoras, sostenibles, éticas y de excelencia para las necesidades del Mercado.

En general, para llevar a cabo estrategias para la optimización de energía a nivel de producción de hidrocarburos se requiere el uso y mantenimiento adecuado de los equipos de perforación y *Workover*. Para el caso de estudio será el *LOADCRAFT 550HP*. En la empresa *Independence Drilling S.A.*, el mantenimiento ha estado a cargo de un área independiente del área de Operaciones, mientras el departamento de Operación se encarga del funcionamiento de los equipos, para entregar unos productos o servicios de la mejor calidad, además de conservar los equipos en buen estado con la plenitud de sus capacidades y una gran confiabilidad, podría decirse que las dos áreas son las responsables de la producción.

Los estándares mejoran la seguridad de las operaciones de la industria, aseguran la calidad, ayudan a mantener los costos bajos, reducen el desperdicio y minimizan la confusión. Ayudan a acelerar la aceptación, llevan los productos al mercado más rápidamente y evitan tener que reinventar la rueda cada vez que se fabrica un producto, se toma como referencia las normas API para implementar una operación óptima. [2]

Las asistencias técnicas realizadas para poder optimizar el desempeño y reducir el deterioro de un pozo petrolero o la adecuación de una nueva zona en el yacimiento , a esto le podemos llamar *Workover* en el cual nos centramos en el cambio de las condiciones iniciales de un yacimiento que nos genera un deterioro el cual evidenciamos

en los daños de pozo o corrosión de las tuberías de producción, válvulas de seguridad, bombas eléctricas, mientras que lo último puede ser la disminución del flujo del pozo.

El Mantenimiento ha ido evolucionando y se han construido diferentes tipos: correctivo, preventivo predictivo, por condición, mantenimiento total productivo, prospectivo y otras variantes más. Finalmente, el tipo de mantenimiento que se le brinda a cada equipo depende del análisis de su criticidad, todo esto para poder brindar la mejor eficiencia y rentabilidad de los equipos.

A nivel nacional existe una estandarización promedio de los equipos requeridos para operaciones de *Workover*, completamiento, abandonos de pozos. Normalmente se requieren equipos con la capacidad de tensionar como máximo 250 KLBS. Los equipos *LOADCARFT 550HP LDT*, cumplen con estos requerimientos y serán los equipos objeto de estudio. [3].

OBJETIVOS

Objetivo general

EVALUAR EL RENDIMIENTO OPERACIONAL EN LA BAJADA DE TUBERÍA PARA UN TALADRO DE WORKOVER

Objetivos específicos

- Identificar variables que afectan el proceso de bajada de tubería.
- Determinar el rendimiento operacional en la baja de tubería en operaciones de *workover* basados en una buena operación.
- Calcular a través de expresiones matemáticas, los límites de mecánica y eficiencia de los equipos
- Comparar los datos operacionales en tiempo real capturados por un software facilitado por INDEPENDENCE DRILLING S.A. contra los resultados arrojados teóricamente en una operación de bajada de tubería
- Generar procedimiento idóneo para la bajada de tubería en un taladro de *workover* con la evaluación del rendimiento operativo bajo la metodología Mambo

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se recopila de manera general las características y usos de los equipos de *Workover*, el funcionamiento del sistema de bajada de tubería y su equipo a seguir. Posteriormente, se recopilan las bases teóricas fundamentales para el desarrollo del trabajo. Se debe considerar que las variables en las ecuaciones utilizadas están contempladas en unidades del Sistema Internacional (SI), sin embargo, en el desarrollo del proyecto las conversiones de unidades corresponden a la gestión de unidades en el sistema imperial (coherente con la lectura del sistema de adquisición de datos).

1.1. Equipos de perforación y *Workover*

Cerca de la totalidad de los proyectos de explotación de hidrocarburos en el mundo, se desarrollan a partir de pozos petroleros. Para la construcción y mantenimiento de estos, es fundamental el uso de equipos de perforación y *Workover*, los cuales se han vuelto un icono de toda la industria petrolera a nivel mundial.

Un equipo de perforación como su nombre lo indica, es una máquina que perfora el subsuelo en busca del hidrocarburo. Funciona gracias a la rotación y peso que se le da a la broca mediante la sarta de perforación. A medida que el pozo se va haciendo más profundo, se van añadiendo tubos a lo largo del pozo hasta llegar a la profundidad objetivo.

Un equipo de *Workover* tiene como función principal el reacondicionamiento de pozos ya perforados. Los principales servicios que prestan estos equipos son: terminación de pozos, que es la preparación y puesta a producción de un pozo recién perforado, mantenimiento, reparación, estimulación al yacimiento, entre otros. Un equipo de *Workover* posee un funcionamiento similar a uno de perforación, sin embargo, se diferencia en el tamaño y potencia [4].

1.1.2. *Uso de los equipos de Workover*

Con el nombre de *Workover* se denomina toda una serie de trabajos algunos de regular

periodicidad realizada a los pozos con el fin de mantener su producción en valores más o menos constantes. También se acostumbra dentro de este término incluir los trabajos de completamiento o re-completamiento del pozo y estimulaciones. Como son muchas las causas de baja productividad de los pozos, los problemas tratables o trabajables son los que a menudo exigen los trabajos de *Workover*, tales como problemas de la formación cerca al pozo, problemas de las perforaciones y *liners* rasurados y los problemas de equipos de producción. [5] Como siempre deberá tenerse una buena historia de producción al cual se le planea hacer el *Workover*. Usando dicha historia se debería diseñar el trabajo a realizar en forma lógica y tratando siempre de ahorrar al máximo el tiempo de equipo (taladro) necesario para tales operaciones y así minimizar costos.

1.1.3. Bajada de tubería

Conectar entre sí las tuberías y bajar el tramo conectado en el pozo de manera controlada. Los tramos de tubería se enroscan entre sí con conexiones rotatorias rebordeadas para la sarta de perforación, o con conexiones roscadas y acopladas para la tubería de revestimiento, las tuberías de revestimiento cortas y la mayoría de las tuberías de producción [6].

1.1.4. Equipo de investigación

La unidad básica corresponde a una *LOADCRAFT 550*, la **Tabla 1** presenta las relaciones teóricas del tren de potencia, de acuerdo con el fabricante.

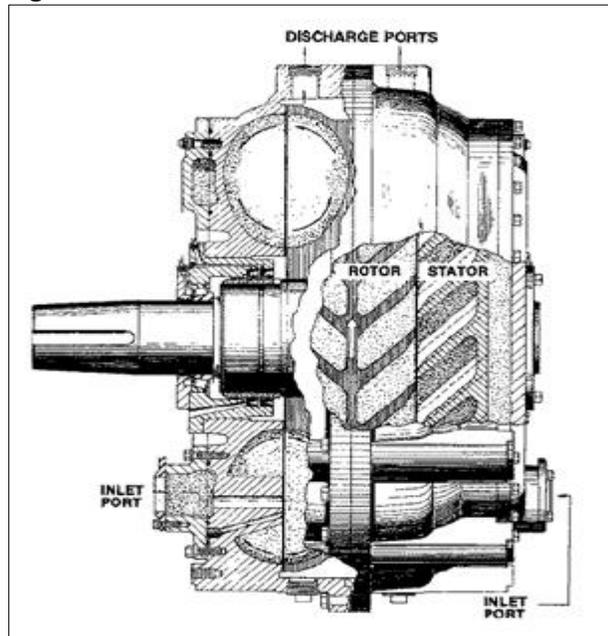
Tabla 1

Relaciones teóricas de acuerdo con el fabricante

Motor unidad basica	
Marca	CAT
Modelo	C15
Potencia	550 HP
Rpm en minima	700

Nota. La tabla presenta las relaciones teóricas de acuerdo con el fabricante. Fuente. Folleto LCI-550, *Loadcraft* industries. Disponible: <https://www.environmental-expert.com/downloads/lci-550brochure-354675>

Figura 2. Freno hidromático.



Nota: La figura presenta el plano general con las principales partes del freno hidromático. Tomado de: *Hydromatic brakes, catalog HB-1-97*. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wp-content/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>

1.1.5.a. Freno principal. Los equipos convencionales de *Workover* tienen un sistema de frenado compuesto por un freno principal que tiene dos tambores y sus respectivas bandas. Se utilizan dos bandas de acero con pastillas de freno atornilladas que se agarran alrededor de los tambores de freno en cada lado del tambor principal. Como ambas bandas deben unirse a un haz de ecualización para lograr fuerzas de frenado iguales en ambos lados del tambor, no son independientes entre sí, y la falla de una banda comprometerá la función de la otra. La fuerza de frenado se entrega mecánicamente desde una palanca de freno a las bandas [9].

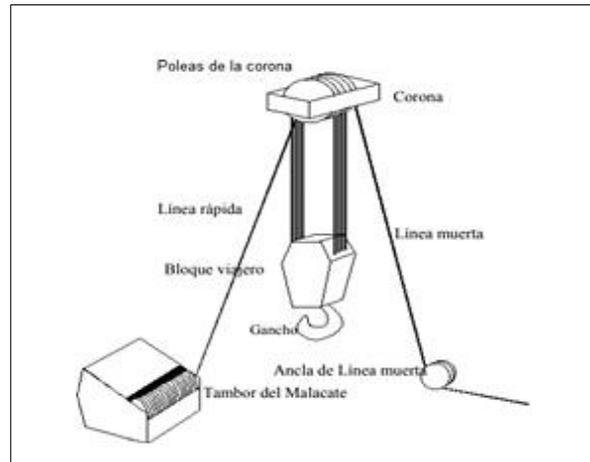
Figura 3.
Sistema de frenado.



Nota: La figura presenta el sistema de frenado para los sistemas convencionales de *Workover*. Tomado de: Autoría propia (Prueba de campo sistema de frenado) *Independence Drilling S.A.*

1.1.5.b. Sistema de izaje. La función principal del sistema de levantamiento, también conocido como sistema de izaje, es proveer un mecanismo para bajar y levantar la sarta de perforación, tubería de revestimiento y todas las herramientas que ingresan al pozo. Este mecanismo debe ser capaz de soportar el peso total de la sarta de perforación. El sistema de levantamiento consiste en un arreglo de poleas que reparten el peso levantado (*hook load*) a través de las líneas, disminuyendo así, la fuerza requerida para poder levantarlo. El cable de perforación juega un papel fundamental en todo el sistema, debido a que es el encargado de transmitir la energía mecánica a lo largo de todo el sistema [10]. La Figura 4, muestra el sistema de poleas, equipos de perforación y *Workover*.

Figura 4.
Sistema de poleas, equipos de perforación de Workover.



Nota: La imagen muestra el sistema de poleas, equipos de perforación, *Workover* y el sistema de izaje en sí. Tomado de: DATALOG, Manual de perforación, procedimientos y operaciones en el pozo, 3 versión. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/161019312/Manual-de-Perforacion-Datalog-pdf>

1.1.6. Bases teóricas fundamentales.

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo. La Ecuación muestra como calcular la potencia cuando la fuerza es constante [11].

$$P = F \cdot v$$

El principio general de conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se pierde o destruye, pero se transforma. La siguiente relación describe lo planteado anteriormente [12].

$$E1 = E2$$

La energía es la capacidad de realizar un trabajo o el trabajo acumulado por un cuerpo, la energía cinética que es la que tiene un cuerpo cuando se mueve a cierta velocidad. La ecuación muestra la forma para calcularla [13].

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Para calcular la energía potencial que está relacionada con la posición del cuerpo en el

espacio (a una altura h), se utiliza la siguiente Ecuación [14].

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Además, el teorema de la conservación de la energía postula que la energía total corresponde a la suma de la energía cinética más la potencial [15]. Para su cálculo se hace uso de la siguiente ecuación.

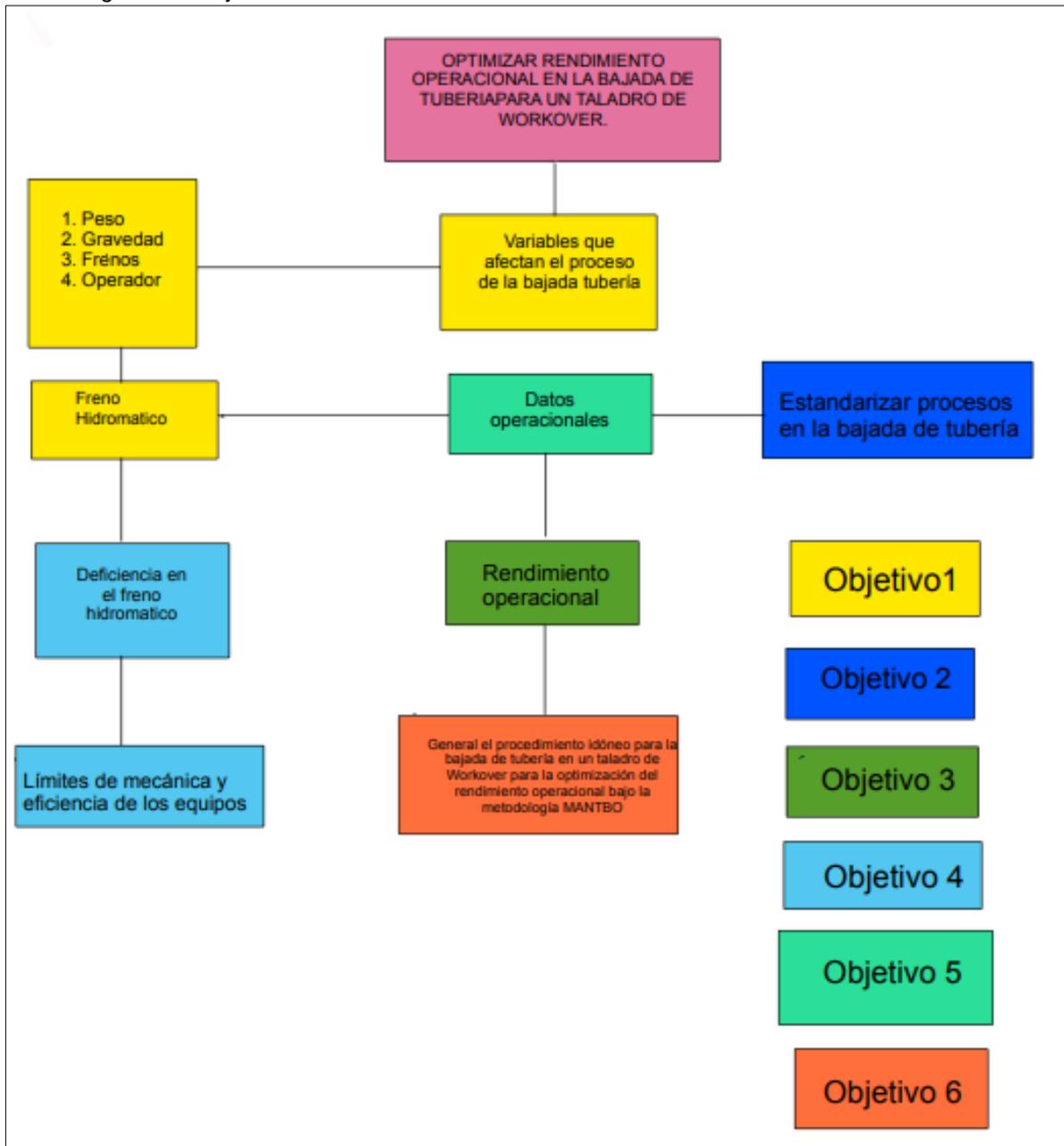
$$E_t = E_c + E$$

2. METODOLOGÍA Y DATOS

En este capítulo se muestra el proceso y métodos que se siguieron para lograr la operación, además, se visualizan los datos de los equipos que se utilizaron para el desarrollo del proyecto. La **Figura 5**, presenta una visualización para optimizar el rendimiento operacional en la bajada de tubería para un taladro *Workover*.

La investigación se llevó a cabo en el workover LCI Loadcraft Rig 550 – Modelo 2012. Equipo autopropulsado montado sobre ruedas, con sistema hidráulico para su levantamiento y nivelación. En el cual tendremos un respectivo tren de impulsión: Cat C15 (475 a 540 HP), transmisión automática de seis velocidades Allison 5610 (motor y transmisión montados en caucho sobre el transportador para facilitar el acceso por encima de la cubierta), cubierta del motor para protección contra la intemperie, además de una inyección electrónica.

Figura 5.
Metodología de trabajo.



Nota: La figura presenta el proceso para optimizar el rendimiento operacional en la bajada de tubería para un taladro de *Workover*.

La empresa recopila datos sobre el proceso de extracción (POOH) e inserción (RIH) a partir del sistema *SkanHawk* y son suministradas para su análisis. Los cambios que dicho sistema se mencionan a continuación:

- ✓ Tiempos de la prueba
- ✓ Peso del gancho (en libras).

- ✓ Velocidad de registro del bloque viajero (en pies por minuto).
- ✓ Colocación del bloque (en pies).
- ✓

A diferencia del proceso de POOH, en este proceso la carga del gancho durante la bajada debe incrementar el peso a medida que se realizan los ciclos. Por otro lado, la velocidad del bloque viajero durante el proceso de inserción de la tubería es más uniforme que en el proceso POOH. Esto se debe a que el gancho del bloque viajero cuenta con la carga más crítica cuando va descendiendo, es decir, cuando va impulsado por la gravedad y cuando es detenido por los frenos. La ley de caída libre de los cuerpos ayuda a explicar este comportamiento en la primera etapa, porque a medida que se da la inserción de tubería importa la magnitud de la masa que se intenta detener. Además, en la etapa de subida del bloque viajero el motor se acciona, sin embargo, la carga que debe elevar no es más que la del gancho, el bloque viajero y parte del cable de perforación. Esta no varía a lo largo del proceso.

Se puede analizar como la energía cinética, la energía potencial y por ende la energía total aumentan a medida que se realizan los ciclos del proceso. Esto se presenta porque la carga del gancho empieza a ser mayor ya que aumenta el número de tuberías conectadas. Se entiende que a medida que hay mayor cantidad de tuberías conectadas, mayor será la energía que debe ser disipada. Suponiendo que el proceso de inserción del tubo en la etapa inicial se realiza por caída libre hasta que se activa el freno para detenerlo, cuanto mayor sea la carga del gancho, el proceso de frenado no debe realizarse de manera brusca, lo cual puede resultar peligroso para los operarios y acortar el periodo de vida útil de la maquinaria [16].

Se procesaron las bases de datos compartidos por la empresa. Se realizaron gráficas y cálculos para entender el comportamiento del motor en el campo, del gancho y del bloque viajero. A su vez, se establece el modelo ideal de operación de la inserción de tubería en un equipo de *Workover* el cual se muestra en la **Tabla 2**. Es necesario observar la variación de la operación en el tiempo con las variaciones de carga.

Tabla 2

Modelo ideal de operación.

ITEM	MEDIDA	UNIDAD
OD	3 - 1/2"	Pulgadas
LONGITUD	63	Pies
WEIGH EACH FT	13,3	Libras/Pie
WEIGH DP	837,9	Libras
GRADE	S-135	N/A

Nota: La tabla muestra el modelo ideal de operación de la inserción de tubería en un equipo de *Workover*. Tomado de: R. R. Ruda Suarez "ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN PARA IZAJE DE CARGA DE LA EMPRESA COLOMBIA CRANE & SERVICE", Pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá D.C., 2015.

2.1. Información técnica de los equipos

Los datos utilizados en este trabajo se rigen bajo un acuerdo de confidencialidad estipulado entre los autores del proyecto y la compañía con la que se desarrolla, en este caso *Independence Drilling S.A.*, por lo tanto, no se mencionan las características de los equipos que la compañía considere.

Unidad Básica: Equipo autopropulsado montado sobre ruedas y con sistema hidráulico para su levantamiento y nivelación [17].

La **Tabla 3** presenta las características principales del Carrier.

Tabla 3

Características del Carrier.

CARRIER	
Marca	LOADCRAFT
Modelo	2012
Ejes	5
Cap. Tándem traseros	50 klbs
Llantas delanteras	4
Llantas traseras	12

Nota: La tabla presenta las principales características del Carrier *Loadcraft* 2012. Tomado de: Folleto LCI-550, *Loadcraft industries*.

La **Tabla 4** presenta las características principales del Malacate.

Tabla 4

Características del malacate.

MALACATE	
ASPECTO	PARÁMETRO
Serie	LCL120352
Frenos	42" diámetro
Seguridad freno	twin stop, crono matic
Refrigeración	Por agua de salpicadura
Diámetro de cable	1 "
lebus diámetro	1"
Diámetro malacate	18"
Cantidad cable que puede enrollar	1000 ft
Capacidad freno	8
Características del freno hidromántico	PARMAC 202
Indicación de peso en el gancho con el cual se aplica el hidromántico	40 klbs
Características del Clouth	NEOMATICO

Nota: La tabla presenta las principales características del Malacate *Loadcraft* 2012. Tomado de: Folleto *Loadcraft industries*.

La **Tabla 5** presenta las características principales del motor de unidad básica.

Tabla 5

Características del motor de unidad básica.

MOTOR UNIDAD BASICA	
ASPECTO	PARÁMETRO
Modelo	CAT C15
Tipo de modelo	N/A
Tipo de inyección	electrónica
Potencia	540 HP
Tipo compresor UB	tufion 550
Tipo Transmisión	ALLISON 5610
Tipo de caja de ángulo y relación de transmisión	LCI

Nota: La tabla presenta las principales características del Motor unidad básica *Loadcraft* 2012. Tomado de: Folleto *Loadcraft industries*.

La **Tabla 6** presenta las características principales del bloque viajero.

Tabla 6

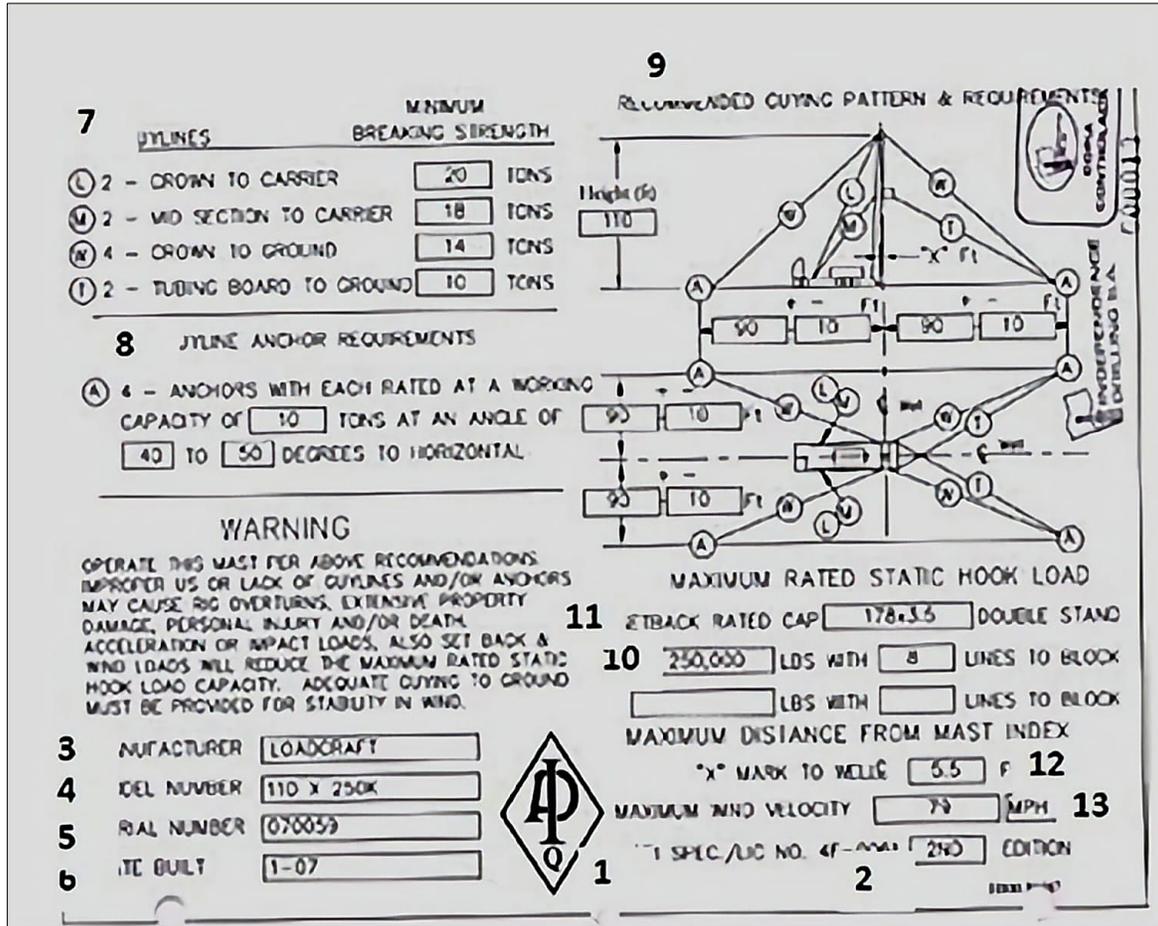
Características del bloque viajero.

BLOQUE VIAJERO	
ASPECTO	PARAMETRO
Modelo	74 A
Marca	MckISSICK
Capacidad	150 TON
Capacidad Links	150 TON
Numero de líneas	8
Diámetro de cable que puede alojar	1"

Nota: La tabla presenta las principales características del Bloque viajero *Loadcraft* 2012. Tomado de: Folleto *Loadcraft industries*.

La **Figura 6** muestra el esquema de la placa de la torre.

Figura 6.
Esquema de la placa de la torre.



Nota: Scanner tomado a la placa de la torre. Tomado de: Independence drilling S.A.

A continuación, se enumeran los componentes del esquema de la placa de la torre mostrada en la **Figura 6**.

1. Monograma.
2. Normas API.
3. Fabricante.
4. Modelo.
5. Serial number.
6. Fecha de fabricación.
7. Guylines.
8. Anchors.
9. Recommended guying pattern & requirements.

10. Carga máxima estática en el gancho.
11. Setback rated capacity.
12. Máximum distance from mast.
13. Máximum wind velocity.

2.2. Proceso RIH

Para entender cómo funciona el modelo experimental se realiza el siguiente procedimiento con las bases de datos suministradas por la empresa:

Paso 1: Graficar los siguientes perfiles:

- Perfil de carga en el gancho para todos los datos.
- Perfil de velocidad en el bloque viajero.
- Perfil de posición del bloque viajero.

Paso 2: Filtrar la base de datos del proceso RIH para identificar los puntos que corresponden a la bajada del gancho. Con el proceso de bajada de tubería podemos identificar su principal falla la cual se evidencia en el freno hidromático [18]. La **Tabla 7**, muestra el proceso mencionado.

Tabla 7

Procedimiento modelo experimental.

NUMERO DE DP	PESO DE BHA	TIEMPO ACUMULADO	TIEMPO BAJANDO (seg)	PROFUNDIDAD
50	41.895	43	43	3150
51	42.733	77	34	3213
52	43.571	120	43	3276
53	44.409	165	45	3339
54	45.247	205	40	3402
55	46.085	244	39	3465
56	46.922	280	35,98	3528
57	47.760	324	44	3591
58	48.598	372	48	3654
59	49.436	411	39	3717
60	50.274	446	35	3780
61	51.112	486	40	3843
62	51.950	526	40	3906
63	52.788	566	40,1	3969
64	53.626	607	40,9	4032
65	54.464	650	43,5	4095
66	55.301	689	38,92	4158
67	56.139	732	42,1	4221
68	56.977	777	45,03	4284
69	57.815	815	38,87	4347
70	58.653	856	40,3	4410
71	59.491	897	41,02	4473
72	60.329	937	40,08	4536
73	61.167	982	45,06	4599
74	62.005	1.024	42,22	4662
75	62.843	1.070	45,61	4725
76	63.680	1.111	41	4788
77	64.518	1.152	41	4851
78	65.356	1.193	41	4914
79	66.194	1.229	35,98	4977
80	67.032	1.269	40	5040
81	67.870	1.311	42,22	5103
82	68.708	1.357	45,75	5166
83	69.546	1.397	40	5229
84	70.384	1.432	35	5292
85	71.222	1.472	40	5355
86	72.059	1.511	38,92	5418
87	72.897	1.549	38,87	5481

Nota. Procedimiento modelo experimental.

2.3. Freno Hidromático

El freno hidromático puede reducir la velocidad de entrada de la tubería, pero no detenerla, así que se deben prever otros medios para poder hacerlo. La instalación del freno hidromático puede ser directa o indirecta.

2.3.1. Instalación del freno hidromático de forma directa

- A través de un cople flexible
- A través de un embrague
- La flecha del hidromático está sujeta a una torsión de carga.

2.3.2. Instalación del freno hidromático de forma indirecta

- A través de cadenas
- A través de engranes
- La flecha del hidromático está sujeta a 2 esfuerzos, de torsión y de flexión.

En todas las aplicaciones de montaje indirecto, la velocidad incrementada por la relación del arreglo deberá ser la permitida para la operación del freno, en un 40% arriba de la velocidad recomendada [19].

La **Tabla 8** muestra las características medias para la activación.

Tabla 8
Características para la activación.

ITEM	MEDIA	UNIDADES
TEMPERATURA AMBIENTE	35,3	°C
TEMPERATURA INICIAL AGUA	28,3	°C
NÚMERO DE DP	95	UND
WEIGHT ACTIVACIÓN HIDROMATICO	40.000	LIBRAS

Nota: La tabla muestra las características de activación. Tomado de: Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.

2.3.3. Calculo volumétrico

Para calcular el dimensionamiento del tanque se realizan los siguientes cálculos:

Figura 7.
Cálculos para el dimensionamiento del tanque.

DEFINITIONS:
D = Well depth, feet
L = Length of stand, feet
N = Number of stands
X = Initial block weight with drill collars, pounds
Y = Weight of one drill pipe stand, pounds
T1 = Ambient temperature, of tank, degrees Fahrenheit
T2 = Final water temperature, of tank, degrees Fahrenheit
W = Total work for one trip, ft-lbf
Q = Total heat generated for one trip, BTU's
G = Volume of water required, gallons

$$\text{Total Work for One Trip} = LNX + \frac{LYN(N+1)}{2} = \text{ft-lbf}$$

$$\text{Total Heat Generated} = Q = \frac{\text{Total Work}}{778} = \frac{W}{778} = \text{BTU}$$

$$\text{Gallons of Water Required} = \frac{Q}{8.34(T2-T1)} = G = \text{gallons}$$

Nota: Ecuaciones para realizar el cálculo del dimensionamiento del tanque.

Volviendo al análisis realizado en la torre 45, se tiene el siguiente resultado:

Tabla 9

Resultado de análisis realizado en la Torre 45.

D	6883	FT
L	63	FT
N	111	DOBLES
X	8000	LBS
Y	837,9	LBS
T1	72	F
T2	180	F
W	384072343	
Q	492666	BTU
G	548	G

Nota. Resultados del análisis realizado En la torre 45

Como se puede observar en este caso de estudio, se requiere un tanque con una capacidad de 548 galones. Actualmente, el tanque del agua de la unidad básica tiene una capacidad de 325 galones. Lo que significa que se necesitaría un tanque extra de 225 galones aproximadamente.

2.3.4. Observaciones

- La temperatura máxima de salida del hidromático debe superar los 180 °F
- La velocidad máxima de descenso será de 300 pies/ min.
- Cálculos del flujo requerido para el hidromático a través de fórmulas
- La cantidad de agua requerida se puede calcular conforme a los siguientes casos:
 - a. Cálculo del flujo mínimo requerido a través del freno hidromático (GPM).
 - b. Cálculo de la cantidad de agua requerida para la carga inicial del gancho (GAL).
 - c. Cálculo de la cantidad de agua requerida para las secciones de tubo (GAL) [20].

La línea de salida del freno debe descargarse directamente en el tanque de nivel para mantener el mismo nivel de agua, en el tanque, cuando el freno está girando. La línea de descarga desde el tanque de nivel hasta el tanque de suministro debe ser de tamaño suficiente para evitar que la bomba aumente el nivel en el tanque, durante los períodos de ralentí del freno.

Cálculos de flujo mínimo requerido a través del freno hidromático. La cantidad de líquido

que circulará a través del freno para manejar una carga de caballos de fuerza específica se calcula mediante [21].

$$GPM = \frac{(HP) * (5.08)}{(\Delta T) * (S_h)}$$

Dónde:

HP = Caballos de fuerza generados por la carga descendente.

ΔT = Diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de agua del freno (°F).

Sh = Calor específico del fluido (en este caso, agua pura).

La potencia generada por una carga que cae depende del peso de la carga y de la velocidad de retardo del freno.

La ecuación para calcular la potencia (En caballos de fuerza), es la siguiente:

$$HP = \frac{(L) * (S)}{33,000}$$

Dónde:

L = Carga en libras

S = Disminución de la velocidad de carga en pies por minuto [22].

La **Tabla 10** muestra los datos requeridos para realizar los cálculos necesarios.

Tabla 10

Datos requeridos para realizar los cálculos necesarios

PROFUNDIDAD	TEMP inicial (°C)	TEMP final (°C)	ENFRIAMIENTO	AUMENTO DE TEMPERATURA
3150	29,8	33,3	3,9	3,5
3213	29,4	34,8	4,5	5,4
3276	30,3	36,33	3,43	6,03
3339	32,9	37,2	2,88	4,3
3402	34,32	39,62	4,21	5,3
3465	35,41	40,86	4,3	5,46
3528	36,56	42,33	4,48	5,77
3591	37,86	43,85	4,7	5,99
3654	39,15	45,37	4,92	6,22
3717	40,45	46,89	5,14	6,44
3780	41,75	48,41	5,36	6,66
3843	43,04	49,92	5,58	6,88
3906	44,34	51,44	5,8	7,1
3969	45,64	52,96	6,03	7,32
4032	46,93	54,48	6,25	7,54
4095	48,23	56	6,47	7,77
4158	49,53	57,52	6,69	7,99
4221	50,83	59,03	6,91	8,21
4284	52,12	60,55	7,13	8,43
4347	53,42	62,07	7,35	8,65
4410	54,72	63,59	7,58	8,87
4473	56,01	65,11	7,8	9,09
4536	57,31	66,63	8,02	9,32
4599	58,61	68,14	8,24	9,54
4662	59,9	69,66	8,46	9,76
4725	61,2	71,18	8,68	9,98
4788	62,5	72,7	8,9	10,2
4851	63,79	74,22	9,13	10,42
4914	65,09	75,73	9,35	10,64
4977	66,39	77,25	9,57	10,87
5040	67,68	78,77	9,79	11,09
5103	68,98	80,29	10,01	11,31
5166	70,28	81,81	10,23	11,53
5229	71,58	83,33	10,45	11,75
5292	72,87	84,84	10,68	11,97
5355	74,17	86,36	2,03	12,19
5418	84,33	88,95	3,33	4,62

Nota: Datos requeridos para realizar los cálculos necesarios

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los respectivos análisis realizados, para optimizar el rendimiento operacional de un equipo *Loadcraft 550 Hp*, en el sistema de bajada de tubería; en donde se podrá presenciar los principales desfases operacionales, basados en la toma de datos de campo focalizados en el sistema de freno, específicamente en el sistema de freno hidromático.

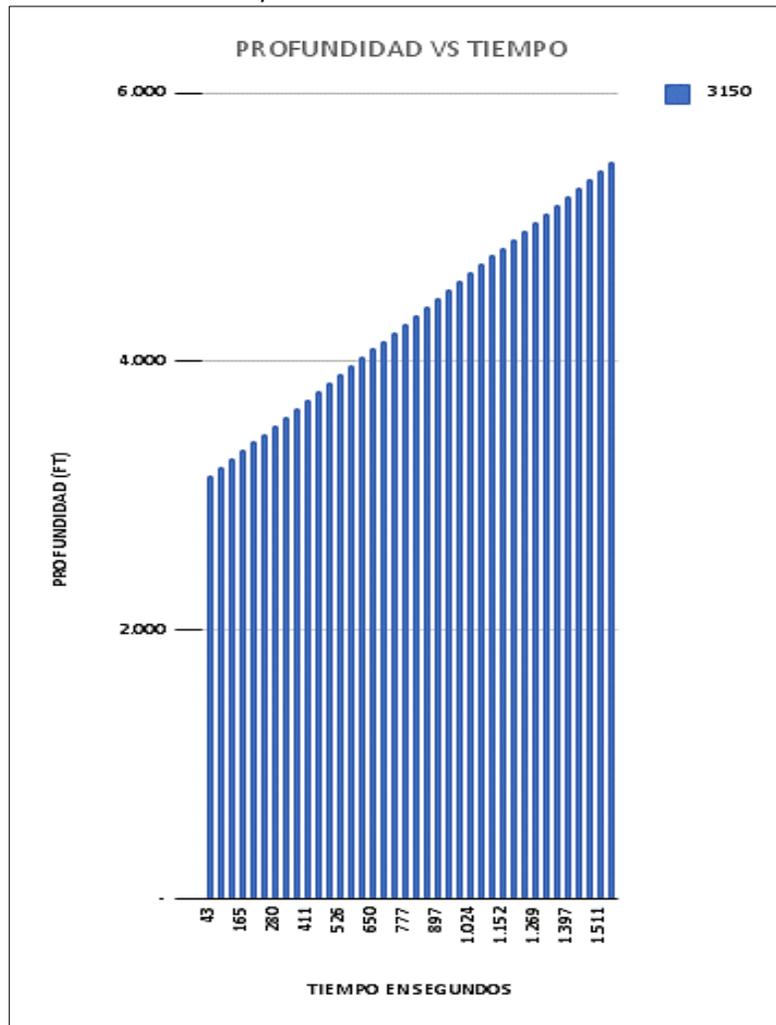
3.1. Modelo de operación

Teniendo en cuenta los datos operacionales tomados del sistema de freno hidromático expuestos en el capítulo anterior se evalúan las condiciones operativas del sistema y sus incidencias en el desgaste del freno en mención

3.1.1. Perfil de profundidad de la sarta

El resultado de la toma de datos operacional permite ver con claridad el incremento constante de la sarta de perforación, esto evidencia la correcta calibración y utilización de los *drillpipe* utilizados referenciados a continuación. La **Grafica 1** presenta los resultados del cálculo profundidad vs tiempo.

Figura 8.
Profundidad vs Tiempo.



Nota: El grafico muestra los resultados obtenidos de profundidad vs tiempo.

Asimismo, la **Tabla 11** muestra el detalle de la tubería.

Tabla 11
Detalle de la tubería.

DETALLE TUBERIA		
TIPO	DRILLPIPE (EN DOBLES)	
ITEM	MEDIDA	UNIDADES
OD	3 - 1/2"	PULGADAS
LONGITUD	63	PIES
WEIGHT EACH FT	13,3	LIBRAS/PIE
WEIGHT DP	837,9	LIBRAS

Nota: La tabla muestra el detalle del *drillpipe* en dobles. Tomado de China API 5DP E75, X95, G105, S135 Tubo de perforación Fabricantes, proveedores, fábrica, exportador, vendedor - Linkun". Xi'an Linkun acero Pipe Co., Ltd. <http://es.lksteelpipe.com/api-5dp-drill-pipe> (accedido el 27 de noviembre de 2022)

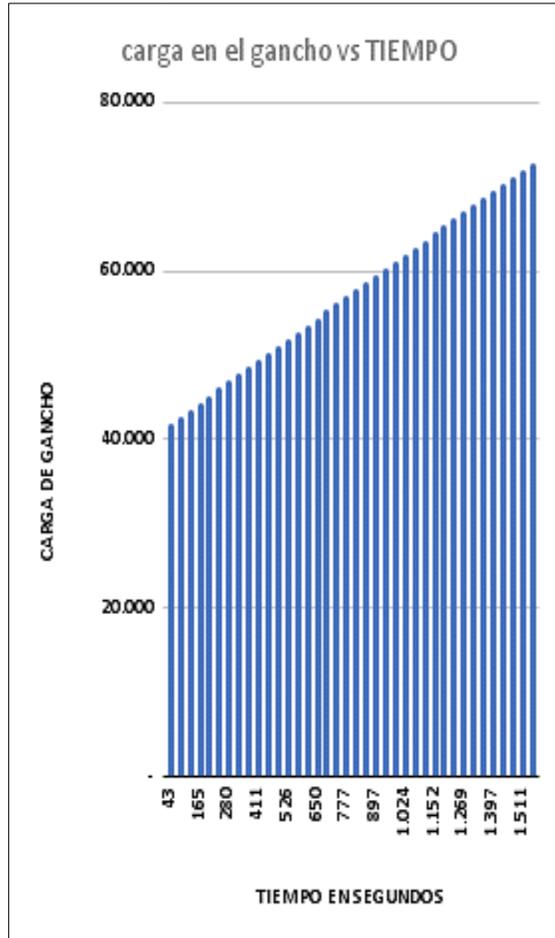
Los grados S-135 en una tubería se consideran grados de alta resistencia. Exhiben un mayor límite de elasticidad que se requiere para dar servicio a pozos más profundos. [23].

La referencia en dobles quiere decir la disposición de la tubería, introduciendo en un conjunto de a dos tubos por cada bajada

3.1.2. Perfil de carga en el gancho

A continuación, se verifica y valida el incremento de la carga del gancho, según cada inserción del BHA; esto corroborando un peso constante de *drillpipes* en dobles de 837,9 lbs, según la referencia de la tubería. El **Grafico 2** presenta la carga en el gancho vs el tiempo.

Figura 9.
Carga en el gancho vs Tiempo.



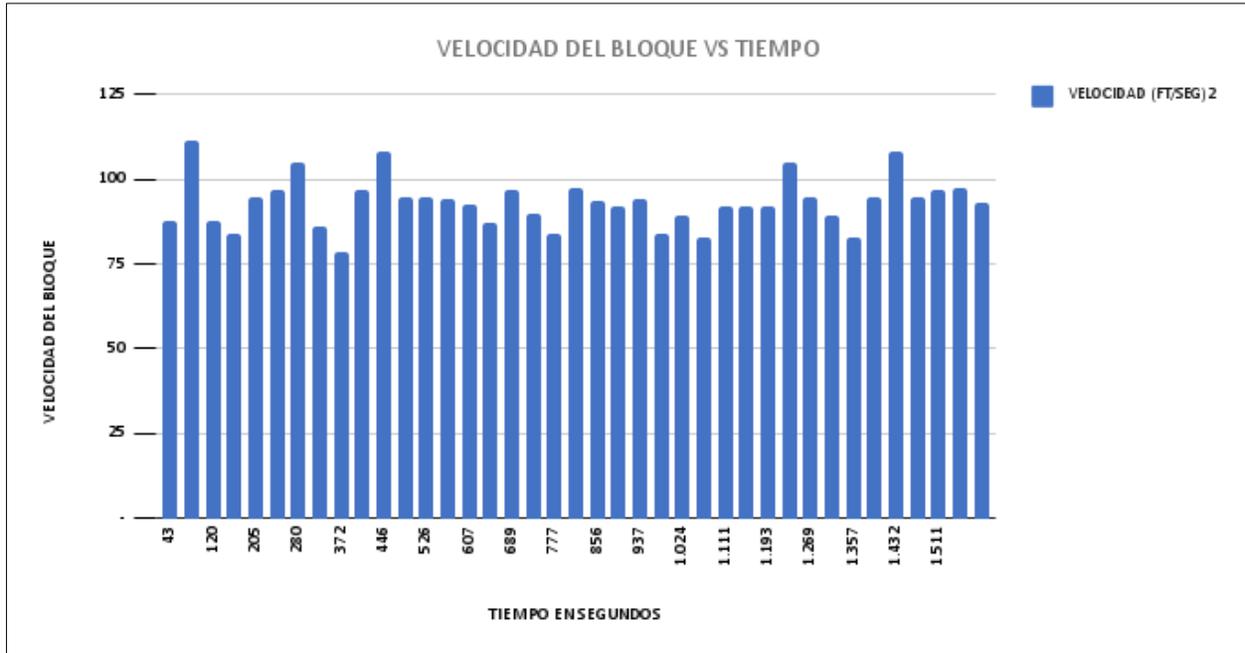
Nota: El grafico presenta la carga en el gancho vs el tiempo..

3.1.3. Perfil de velocidad en el bloque en el bloque viajero.

El **Grafico 3** presenta la velocidad del bloque viajero en la inserción de cada uno de los *drillpipes* en dobles, llevando una velocidad promedio de 40,68 ft/min.

Figura10.

Velocidad del bloque vs Tiempo.



Nota: El grafico presenta la velocidad del bloque viajero en la inserción de cada uno de los *drillpipes* en dobles, llevando una velocidad promedio de 40,68 ft/min.

3.2. Identificación del problema.

La **Tabla 12** presenta la principal problemática encontrada en el sistema de bajada de tubería específicamente en el freno hidrométrico.

Tabla 12*Problemática encontrada en el sistema de bajada*

NUMERO DE DP	PESO DE BHA	TIEMPO ACUMULADO	TEMP inicial (°C)	TEMP final (°C)	DIFERENCIA
50	41.895	43	29,8	33,3	3,5
51	42.733	77	29,4	34,8	5,4
52	43.571	120	30,3	36,33	6,03
53	44.409	165	32,9	37,2	4,3
54	45.247	205	34,32	39,62	5,3
55	46.085	244	35,41	40,86	5,46
56	46.922	280	36,56	42,33	5,77
57	47.760	324	37,86	43,85	5,99
58	48.598	372	39,15	45,37	6,22
59	49.436	411	40,45	46,89	6,44
60	50.274	446	41,75	48,41	6,66
61	51.112	486	43,04	49,92	6,88
62	51.950	526	44,34	51,44	7,1
63	52.788	566	45,64	52,96	7,32
64	53.626	607	46,93	54,48	7,54
65	54.464	650	48,23	56	7,77
66	55.301	689	49,53	57,52	7,99
67	56.139	732	50,83	59,03	8,21
68	56.977	777	52,12	60,55	8,43
69	57.815	815	53,42	62,07	8,65
70	58.653	856	54,72	63,59	8,87
71	59.491	897	56,01	65,11	9,09
72	60.329	937	57,31	66,63	9,32
73	61.167	982	58,61	68,14	9,54
74	62.005	1.024	59,9	69,66	9,76
75	62.843	1.070	61,2	71,18	9,98
76	63.680	1.111	62,5	72,7	10,2
77	64.518	1.152	63,79	74,22	10,42
78	65.356	1.193	65,09	75,73	10,64
79	66.194	1.229	66,39	77,25	10,87
80	67.032	1.269	67,68	78,77	11,09
81	67.870	1.311	68,98	80,29	11,31
82	68.708	1.357	70,28	81,81	11,53
83	69.546	1.397	71,58	83,33	11,75
84	70.384	1.432	72,87	84,84	11,97
85	71.222	1.472	74,17	86,36	12,19
86	72.059	1.511	84,33	88,95	4,62
87	72.897	1.549	85,62	89,45	3,83

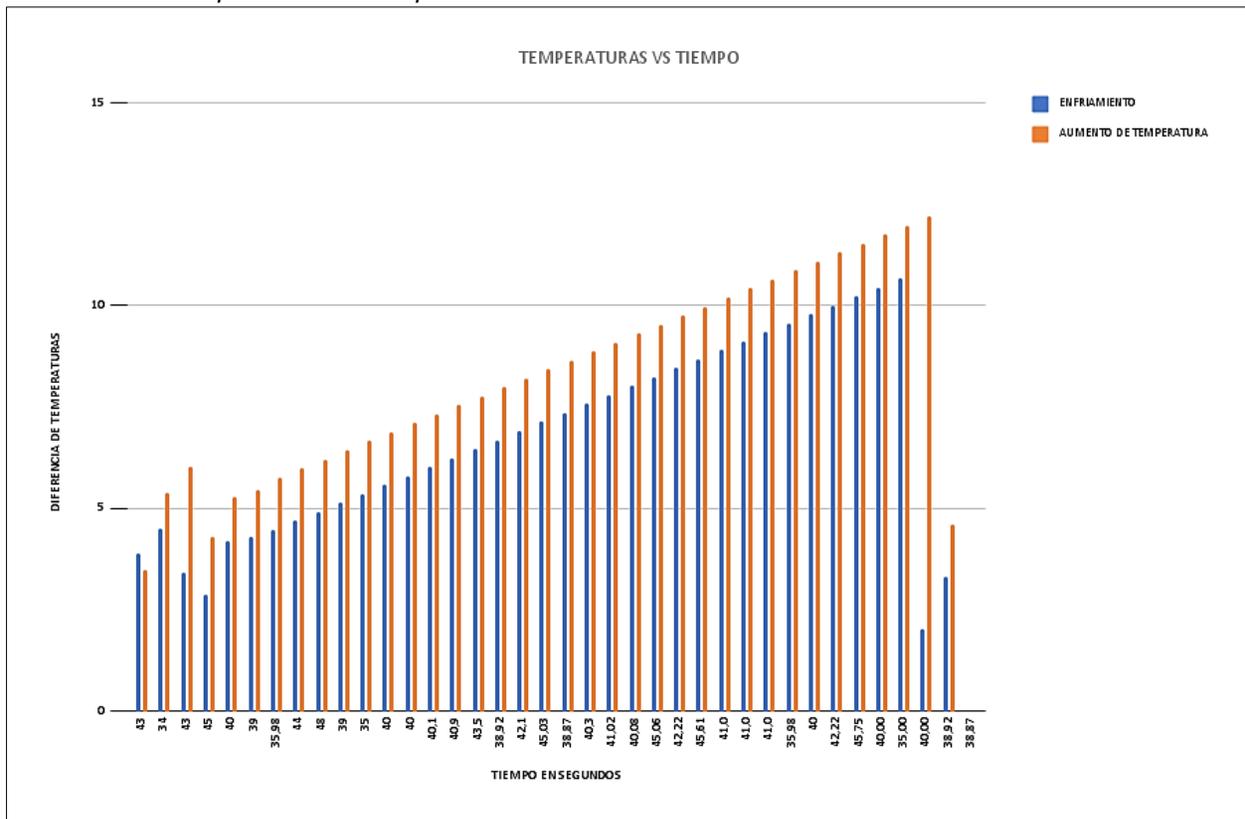
Nota: La tabla presenta la principal problemática encontrada en el sistema de bajada de tubería específicamente en el freno hidrométrico.

El **Grafico 4** permite visualizar el problema en donde se presenta delta de disminución de temperatura menor al delta del aumento de temperatura del Agua al interior a del hidromático, La cual según el manual de fabricante (MANUAL PARMAC INC), no debería

aumentar los 80°C, ya que, a una mayor temperatura, esto podría generar daños considerables en el elemento, tales como pérdida de la capacidad de disminución de velocidad, daños en las aspas por cavitación.

El calor generado en el hidromático es consecuencia de la absorción de energía mecánica que es transferida directamente al fluido circulante (agua) del sistema, lo que significa que es de vital importancia para el funcionamiento de este que el sistema opere con agua en estado líquido y que a la entrada del hidromático se tenga agua refrigerada

Figura 11.
Problemática Temperatura vs Tiempo.



Nota: El grafico muestra la visualización del problema.

3.3. Planteamiento de soluciones

A continuación, se presentan las viables soluciones planteadas, para tratar la problemática encontrada del continuo aumento de la temperatura del agua en el freno hidromático.

- *Chiller:* Funcionan suministrando un flujo continuo de refrigerante a la temperatura deseada al lado frío del evaporador. Luego, el enfriador bombea el líquido enfriado a

través del proceso para eliminar el calor de su equipo y devolverlo a la línea de retorno; este elemento nos permite manejar la temperatura del fluido del hidromántico en un 100% en condiciones de constantes

- Aumento de volumen: En este caso, nos encontramos con la relación de que el volumen del tanque de almacenamiento es inversamente proporcional al aumento de temperatura, lo que quiere decir, que, a mayor volumen y zona de contacto, con las paredes del tanque de almacenamiento, la temperatura tiende a disminuir, la variación Dimensional de este elemento varía según las operaciones realizadas, Es decir que el diseño de estos tanques depende directamente de la variación de las operaciones (presión, peso en sarta, operación de operador), de esta misma manera, realizando los cálculos pertinentes (según el manual *Hydromatic brakes, catalog HB-1-97*), se sugiere aumentar la capacidad del tanque a 548gal como se demostró anteriormente el ítem 2.3.3 .
- Sistema refrigerante cerrado: El sistema será hermético y funcionará bajo presión. Esta presión hace que el punto de ebullición del fluido sea más alto, lo que reduce el riesgo de que empiece a evaporarse; este elemento nos permite manejar la temperatura del fluido del hidromántico en un 100% en condiciones de constantes [24].
- Refrigerante en el agua del hidromático: Esta propuesta es viable, siempre y cuando se monitoree la presión interna al interior del hidromático, dado que el uso de refrigerantes aumenta las presiones de trabajo y esto puede afectar los empaques del hidromático. Otra consideración para tener en cuenta es que el agua es cambiada periódicamente por agua nueva, lo que significa que cada vez que se cambie el agua del tanque se debe aplicar nuevo refrigerante.
- Intercambiador de calor: Esta opción es una de las más viables, dado que se puede adaptar un intercambiador de calor a la unidad básica, sin tener la necesidad de que se requiera una carga extra durante las movilizaciones, así mismo, si se implementa un intercambiador de calor externo que no pese más de 1 tonelada, se podría movilizar con la camioneta del equipo.

4. CONCLUSIONES

Se evidencia que el esfuerzo del freno Hidromático representado en el caudal es directamente proporcional la carga del bloque y su respectiva velocidad; tal como se ve que por cada aumento de 10 ft/s en el bloque se debe aumentar 2 gls/s en el caudal del freno Hidromático, como se puede ver en la tabla 9 y los gráficos 1 y 2. Por lo que se concluye que las principales variables que afectan el proceso de bajada de tuberías son el peso de sarta, la fuerza gravitacional, los frenos y las desviaciones operacionales causadas por la mano de obra

El rendimiento operacional de bajada de tubería este ligado, a tanto al cumplimiento de los programas de pozo junto al uso correcto del equipo en cuestión, con lo cual se mejorarán los tiempos de operación y vida útil de los equipos, corroborados en (Grafico 3, Tabla 11 y Grafico 4).

Se requiere un tanque de almacenamiento de 549 galones para evitar exceder los límites térmicos del Hidromático, para esto se efectuó cálculo de volumen requerido en galones, como se muestra en el ítem 2.3.3. Se puede controlar, el aumento de temperatura, disipándola por medio del mismo fluido utilizado con el cálculo volumétrico y los límites de mecánica y eficiencia en las operaciones de bajada de tubería se ven reflejados en el calor generado en el Hidromático el cual es consecuencia de la absorción de energía mecánica que es transferida directamente al fluido circulante (agua) del sistema, lo que significa que es de vital importancia para el funcionamiento de este que el sistema opere con agua en estado líquido y que a la entrada del Hidromático se tenga agua refrigerada (Tabla 11, Grafico 4),.

Después de comparar los datos tomados en tiempo operacional vs el software de la empresa, se evidencia, que estos datos son equivalentes. (Tabla 7)

Se genera el procedimiento idóneo para la bajada de tubería en un taladro de Loadcraft 550 HP bajo la metodología MANTBO, el cual no se puede presentar por cuestiones de confidencialidad por parte de la empresa Independence Drilling S.A.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. M. Romero Toncel, "Estandarización del proceso workover de la empresa colombiana Independence a partir de la optimización de consumo de combustible", Pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., 2020.
- [2] "Estándares". <https://www.api.org/products-and-services/es/standards> (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [3] CAMPETROL, "Informe de taladros y producción.", Institucional, noviembre de 2022.
- [4] "Work Over – PETROLAND SAS". PETROLAND SAS – Empresa en constante crecimiento. <https://www.petrolandsas.com/work-over-2/> (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [5] E. Hernández Trejos, *Curso Workover "Operaciones de taladro"*, 8ª ed. Bucaramanga, 2005.
- [6] "run_in_hole". The SLB Energy Glossary | Energy Glossary. https://glossary.slb.com/es/terms/r/run_in_hole (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [7] Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wpcontent/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>inc, Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.
- [8] Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wpcontent/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>inc, Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.

- [9] Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wpcontent/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>inc, Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.
- [10]. DATALOG, Manual de perforación, procedimientos y operaciones en el pozo, 3 versión. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/161019312/Manual-de-Perforacion-Datalog-pdf>
- [11] R. A. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 4^a ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1996.
- [12] R. A. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 4^a ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1996.
- [13] . R. A. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 4^a ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1996.
- [14] . R. A. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 4^a ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1996.
- [15] R. A. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 4^a ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1996.
- [16] R. R. Ruda Suarez, "Elaboración De Un Manual De Operación Para Izaje De Carga De La Empresa Colombia Crane & Service", Pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá D.C., 2015.
- [17]. LOADCRAFT INDUSTRIES LTD, "Rigs drawworks workover mud system parts/service". [En línea]. Disponible: <https://www.environmental-expert.com/products/lci-model-drawworks-550-42-12-42-8-loadcraft-rig-240893>

- [18]. P. M. Romero Toncel, "Estandarización del proceso workover de la empresa colombiana Independence a partir de la optimización de consumo de combustible", Pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., 2020.
- [19]. Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wp-content/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>inc, Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.
- [20] U. B. Serrano. "Equipos de Perforación Rotatoria". Academia.edu - Share research. https://www.academia.edu/22513548/Equipos_de_Perforaci3n_Rotatoria (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [21] U. B. Serrano. "Equipos de Perforación Rotatoria". Academia.edu - Share research. https://www.academia.edu/22513548/Equipos_de_Perforaci3n_Rotatoria (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [22]. Parmac inc, *Hydromatic Brakes Catalog*. Coffeyville, Kansas, U.S.A. [En línea]. Disponible: <https://parmacbrake.com/wp-content/uploads/2022/01/Hydromatic-Brake-New-Catalog-HB-1-10-3.pdf>inc, Hydromatic Brakes Catalog. Coffeyville, Kansas, U.S.
- [23]. "China API 5DP E75, X95, G105, S135 Tubo de perforación Fabricantes, proveedores, fábrica, exportador, vendedor - Linkun". Xi'an Linkun acero Pipe Co., Ltd. <http://es.lksteelpipe.com/api-5dp-drill-pipe> (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [24]. "¿Qué es una torre de enfriamiento de circuito cerrado? | Baltimore Aircoil". Global | Baltimore Aircoil. <https://baltimoreaircoil.com/es/que-es-una-torre-de-circuito->

- cerrado-de-enfriamiento (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [25]. <https://www.grundfos.com/co/support/faq/what-is-cavitation#:~:text=Respuesta:,de%20vapor%20del%20medio%20bombeado>. (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [26]. "Qué es el Ensamblaje de Fondo en Sartas de Perforación?" Perfblogger. <https://perfblogger.wordpress.com/2020/09/09/que-es-el-ensamblaje-de-fondo-en-sartas-de-perforacion/> (accedido el 27 de noviembre de 2022).
- [27]. F. Beltrán, *Resistencia de materiales*, Madrid, 2007.
- [28]. J. Herrera, *Sistemas básicos y procesos de los equipos de perforación*, 2ª ed. Madrid, 2020.
- [29]. "workover". The SLB Energy Glossary | Energy Glossary. <https://glossary.slb.com/en/terms/w/workover> (accedido el 27 de noviembre de 2022).

GLOSARIO

Cavitación: es la formación y explosión repentina de burbujas de vapor [25].

Conjunto de fondo de pozo (BHA): es el componente de la sarta de perforación ubicado directamente encima de la broca y debajo de la tubería de perforación. El componente principal del BHA es el collar de perforación. [26].

Desgaste mecánico: es el desgaste generado en el cable por la interacción con las herramientas que lo operan o agentes externos que puedan generar daño a la integridad, principalmente, se le atribuye el desgaste mecánico a las fallas de integridad de los equipos que interactúan en determinado punto de este

Desgaste operativo. es el desgaste generado por la operación del cable al someterlo al levantamiento de cargas durante su uso en la operación del equipo. Este desgaste se puede cuantificar mediante el uso de la variable tonelada milla la cual permite calcular la cantidad de peso que ha transportado el cable en relación con una distancia.

Factor de diseño o seguridad. este factor es necesario para garantizar la seguridad del cable al momento de su uso, ya que propone que el cable tenga la capacidad de levantar mínimo tres veces la carga máxima a la cual será sometida antes de llegar a la carga de rotura nominal en el caso de operaciones de perforación y dos veces en el caso de operaciones de *workover*, y de este modo asegurar que el cable se mantenga en condiciones seguras lejos de las cargas de ruptura [27].

Sistema de izaje: sistema de un equipo de perforación o *workover*, el cual permite elevar o bajar herramientas al pozo [28].

Workover: es la reparación o estimulación de un pozo de producción existente con el fin de restaurar, prolongar o mejorar la producción de hidrocarburos [29].

ANEXOS

ANEXO 1 RECOMENDACIONES

- ✓ Aumentar la frecuencia de la toma de las medidas, al igual que incluir sensores para la medición de la temperatura de los frenos y la posición de la válvula

- ✓ Se recomienda la capacitación del personal para la operación adecuada del proceso *Workover*.

- ✓ Para realizar la futura optimización del proceso de inserción de tubería se recomienda la aplicación de un enfriador en el tanque de agua del freno hidromático para la optimización del frenado

- ✓ Se debe hacer proyectos de prueba en el freno hidromático con las soluciones propuestas para mejorar la eficiencia del proceso, ya que no se cuenta con la suficiente información, para determinar la solución más acertada para la optimización en la inserción de tubería.