

ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DEL CABLE DE PERFORACIÓN
MEDIANTE EL DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL PARA EL CÁLCULO
DE LA VARIABLE TONELADA-MILLA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y
WORKOVER DE LA COMPAÑÍA ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY
SERVICES.

JUAN CAMILO CAMACHO MÁRTINEZ
CHRISTIAN DANIEL MORALES BOHORQUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ, D.C
2020

ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DEL CABLE DE PERFORACIÓN
MEDIANTE EL DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL PARA EL CÁLCULO
DE LA VARIABLE TONELADA-MILLA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y
WORKOVER DE LA COMPAÑÍA ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY
SERVICES.

JUAN CAMILO CAMACHO MÁRTINEZ
CHRISTIAN DANIEL MORALES BOHORQUEZ

Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director:

ARMANDO TORRES VALENZUELA

Magister In Business Administration, Especialista en Gerencia de Proyectos,
Ingeniero de Petróleos.

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

2020

NOTAS DE ACPETACIÓN

Ing. Jorge Andrés Tovar Moreno

Ing. Adriana Milena Henao Bejarano

DIRECTIVAS 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. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUAMÁN

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

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

Dedico este logro principalmente a Dios quien me ha dado la curiosidad y la fuerza para estudiar ingeniería y cumplir todas las metas de una manera satisfactoria y con excelencia.

A mis padres Orlando Morales y Diana Bohórquez quienes me han apoyado en todo este proceso y nunca me han dejado desfallecer.

A mis hermanos Juan Sebastian Morales y Andrés Bohorquez quienes me han acompañado y veo en ellos un potencial muy grande.

A mi familia quienes estuvieron pendientes en todo el proceso apoyando con sus aportes y oraciones.

A mi novia y amiga Ana María Correal quien me ha acompañado en todo este proceso apoyándome y compartiendo la curiosidad por la ciencia.

Al coautor de este proyecto y mejor amigo Juan Camilo Camacho con quien fue un honor trabajar y nada de esto sería posible sin su apoyo.

A mis amigos y próximos colegas quienes siempre nos apoyamos para ser unos buenos estudiantes y ahora unos excelentes profesionales.

A mis Amigos de Nicolas Pulido, Carlos Ortiz, Erick León y Brian Cruz quienes me han apoyado a lo largo de mi vida enseñándome el verdadero valor de la amistad.

*Y aunque el cuestionar me haga resbalar a la prudencia
Se que la duda es uno de los nombres de la inteligencia
Mi semblante de estudiante es en esencia ser feliz
Siendo el eterno postulante, el eterno aprendiz.*

Cuarteto de nos – El aprendiz

Christian Daniel Morales Bohórquez

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a las dos mujeres que a lo largo de todo este arduo trabajo me han apoyado incondicionalmente, a mi mamá Jhoanna Carola Martínez y a mi Abuela Emma Susana Pulido, a mi abuelo Alejandro Martínez por siempre creer en mis capacidades y darme apoyo moral a lo largo de todos mis estudios, A mis amigos y compañeros con quienes compartí y aprendí a lo largo de estos años pasando los mejores momentos.

A Dios por darme sabiduría, paciencia, persistencia y fortaleza para lograr cumplir mis metas y sueños.

A mi mejor amigo y compañero Christian Daniel Morales quien ha creído en mí y me permitió comenzar mi vida profesional gracias a este proyecto, me acompañó y compartió conmigo a lo largo de todos mis estudios y la vida.

*La ciencia puede divertirnos y fascinarnos,
pero es la ingeniería la que cambia el mundo.*

Isaac Asimov.

Juan Camilo Camacho Martínez

AGRADECIMIENTOS

A Estrella International Energy Services quienes nos brindaron su confianza al darnos la oportunidad y recursos para desarrollar este proyecto.

A la Fundación Universidad de América por ser nuestra alma mater y quien nos formó como unos profesionales íntegros a lo largo de estos 5 años.

Al director del proyecto Ingeniero Armando Torres Valenzuela quien a través de las más altas exigencias en calidad y excelencia nos permitió adquirir todas las capacidades y conocimientos necesarios para poder cumplir con los objetivos del proyecto.

Al codirector del proyecto Ingeniero Jaime Diaz por su constancia y apoyo continuo el cual fue vital para el desarrollo del proyecto.

A la orientadora del proyecto Ingeniera Yatnielah Pirela quien con sus acertadas recomendaciones y consejos se perfeccionó la investigación.

A toda el área de Información y Tecnología de la compañía, especialmente al ingeniero German Carvajal por acogernos en la oficina y brindarnos apoyo técnico en la programación de la herramienta digital.

A los ingenieros Sebastian Mora, Manuel Martínez, Lucas Coronel, Cesar Rojas y Danilo Cano quienes nos apoyaron con su experiencia e información técnica para el desarrollo del proyecto.

A Emcocables quienes nos recibieron en su planta de producción y mediante los ingenieros James Homez y Tatiana Álvarez nos aportaron sus conocimientos técnicos a cerca del cable de perforación.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. MARCO TEÓRICO	26
1.1 EQUIPOS DE PERFORACIÓN Y WORKOVER	26
1.2 SISTEMA DE IZAJE	26
1.3 CABLES DE PERFORACIÓN	27
1.3.1 Diámetro.	28
1.3.2 Clasificación y construcciones.	29
1.3.2.1 Construcción de torones.	29
1.3.2.2 Preformado del cable.	31
1.3.2.3 Grados.	32
1.3.2.4 Almas.	32
1.3.3 Variable Tonelada-Milla.	33
1.4 ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE	33
1.5 DESCRIPCION DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.	35
2. METODOLOGÍA Y DATOS	36
2.1 INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS	36
2.1.1 E-707.	36
2.1.2 E-1724.	37
2.1.3 E-722.	39
2.1.4 E-1225	41
2.2 ESPECIFICACIONES QUE AFECTAN LA INTEGRIDAD DEL CABLE	43
2.2.1 Poleas.	44
2.2.2 Tambor del malacate y ancla de la línea muerta.	44
2.3 HERRAMIENTA DIGITAL ESTRELLA TON MILE	45
2.3.1 Diseño de la herramienta digital.	45
2.3.2 Funcionamiento de la herramienta digital.	48
2.3.3 Cálculo de la Tonelada-milla.	48
2.3.3.1 Viaje completo.	49

2.3.3.2	Operaciones de perforación.	50
2.3.3.3	Operaciones de corazonamiento.	50
2.3.3.4	Bajada de casing.	50
2.3.3.5	Bajada de liner.	51
2.3.3.6	Viaje corto y operaciones de pesca.	51
2.3.3.7	Operaciones de martilleo.	51
2.3.3.8	Tensionando en pega de tubería.	51
2.3.4	Programa de corrida y corte.	52
2.3.5	Cantidad de cable de enhebrado.	53
2.3.6	Implementación de la herramienta digital.	54
2.4	INSPECCIÓN DEL CABLE	54
2.4.1	Inspección visual.	54
2.4.2	Inspección dimensional.	54
2.4.3	Ensayo de tracción.	54
2.5	GUÍA METODOLOGICA DE BUENAS PRÁCTICAS	55
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	56
3.1	INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE IZAJE	56
3.1.1	Poleas.	56
3.1.2	Tambor del malacate y ancla de la línea muerta.	57
3.2	EMULACIÓN CON LA HERRAMIENTA DIGITAL	58
3.3	VALIDACIÓN DEL PROYECTO	60
3.3.1	Inspección Visual y dimensional.	62
3.3.2	Ensayo de tracción.	64
3.4	MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DEL CABLE DE PERFORACIÓN	65
3.4.1	Reglamentación general	65
3.4.2	Compra.	65
3.4.3	Almacenamiento.	65
3.4.4	Uso.	65
3.4.5	Inspección.	65
3.4.6	Mantenimiento.	65

4. CONCLUSIONES	67
5. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de poleas equipos de perforación y workover.	27
Figura 2. Partes del cable de perforación.	28
Figura 3. Método correcto de medición del diámetro.	29
Figura 4. Ejemplos de construcción de torones.	30
Figura 5. Ejemplos de preformado de cables.	31
Figura 6. One rope lay	32
Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología.	36
Figura 8. Polea defectuosa por paso de luz.	44
Figura 9. Desgaste máximo en canales para tambores y anclas.	45
Figura 10. Pantalla inicial Estrella Ton-mile.	46
Figura 11. Selección de tipo de equipo en operación en Estrella Ton-mile.	47
Figura 12. Pantalla para el cálculo de Tonelada-milla en la herramienta Estrella Ton-mile.	47
Figura 13. Diagrama de flujo funcionamiento de Estrella Ton-mile	48

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Resultado ensayo de tracción.	34
Gráfica 2. Características de un cable en un ensayo de tracción.	35
Gráfica 3. Acumulación de Tonelada-milla para el pozo FUA 2 realizado por el equipo E-722.	61
Gráfica 4. Acumulación de Tonelada-milla para el pozo FUA 3 realizado por el equipo E-1225.	62

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Longitud de la muestra durante el ensayo de tracción.	34
Ecuación 2. Tonelada-milla para operaciones de viaje completo.	49
Ecuación 3. Factor de flotación.	49
Ecuación 4. Tonelada-milla para operaciones de perforación con top drive.	50
Ecuación 5. Tonelada-milla para operaciones de corazonamiento.	50
Ecuación 6. Tonelada-milla para operaciones de bajada de casing.	50
Ecuación 7. Tonelada-milla para operaciones de bajada de liner.	51
Ecuación 8. Tonelada-milla para operaciones de viaje corto.	51
Ecuación 9. Cantidad de cable mínima para enhebrado.	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Diámetro del cable vs. Tolerancias	28
Tabla 2. Clasificación por número de torones y alambres.	29
Tabla 3. Características del equipo E-707 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.	37
Tabla 4. Características del equipo E-1724 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.	37
Tabla 5. Características de los BHA's usados en la perforación del pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.	38
Tabla 6. Características de los revestimientos usados en el pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.	38
Tabla 7. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.	39
Tabla 8. Características del equipo E-722 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.	40
Tabla 9. Características de los BHA's promedio usados en la perforación del pozo FUA 2 perforado por el equipo E-722.	40
Tabla 10. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 2 perforado por el equipo E-722.	41
Tabla 11. Diámetro y tensión de ruptura del cable del E-722 para pruebas en condición de nuevo.	41
Tabla 12. Características del equipo E-1225 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.	42
Tabla 13. Características de los BHA's promedio usados en la perforación del pozo FUA 3 perforado por el equipo E-1225.	42
Tabla 14. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 3 perforado por el equipo E-1225.	43
Tabla 15. Diámetro y tensión de ruptura del cable del E-1225 para pruebas en condición de nuevo.	43
Tabla 16. Funciones para el cálculo de tonelada-milla en operaciones especiales.	52
Tabla 17. Objetivo de corte	53
Tabla 18. Diámetro de las gargantas de las poleas según inspección.	57
Tabla 19. Resultados emulados del equipo E-1724 para el pozo FUA 1 con el software preexistente y la herramienta "Estrella Ton-mile".	59
Tabla 20. Diámetro de los cables sometidos a pruebas.	63
Tabla 21. Resultados ensayos de tracción.	64
Tabla 22. Contenido manual de buenas prácticas del cable de perforación.	66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A.	72
ANEXO B.	73
ANEXO C.	74
ANEXO D.	75
ANEXO E.	83
ANEXO F.	91
ANEXO G.	92
ANEXO H.	95
ANEXO I.	97

LISTA DE ABREVIATURAS

°	Grados
API	American Petroleum Institute
B	Longitud del cable desde el malacate hasta la corona.
C	Peso flotante de BHA (collar de perforación + tubería de perforación de peso pesado + BHA) en lodo menos el peso flotante de la misma longitud de la tubería de perforación en (lb)
CH	Cantidad de cable de enhebrado. (ft).
CMM	Cable mínimo en el tambor del malacate. (ft).
d	Distancia entre el malacate al centro del pozo
D	Profundidad del pozo. (ft)
DEB	Distancia del ensamblaje del bloque viajero. (ft).
DLM	Distancia de la línea muerta. (ft).
DLR	Distancia de la línea rápida. (ft).
FF	Factor de flotación. (Decimal).
h	Altura de la torre. (ft).
HP	Horse Power (Caballos de fuerza).
IADC	International Association Drilling Contractors
K	Coeficiente de fricción de poleas giratorias= 1.04
L _r	Cantidad de líneas entre la corona y el bloque viajero. (ft).
L	Peso en la línea rápida (lb)
L1	Profundidad final de perforación (ft)
L2	Profundidad de inicio de perforación (ft)
L _{cs}	Longitud de una junta de casing. (ft)
L _l	Longitud de una junta de liner. (ft)
L _s	Longitud de una parada de drill- pipe. (ft)
LS	Longitud de una parada. (ft).

M	Peso total del ensamblaje del bloque viajero hasta el elevador. (lb)
mw:	Peso del lodo (ppg).
n	número de líneas
N	Número de paradas de drill pipe.
R _g	Diámetro garganta de la polea
s	Número de poleas giratorias.
T ₃	Tonelada milla de un viaje completo a la profundidad donde inicia el acorazonamiento. (Ton-mile).
T ₄	Tonelada milla de un viaje completo a la profundidad donde finaliza el acorazonamiento. (Ton-mile).
T ₅	Tonelada milla de un viaje completo a la profundidad menor. (Ton-mile).
T ₆	Tonelada milla de un viaje completo a la profundidad mayor. (Ton-mile).
T _c	Tonelada-milla en operaciones de corazonamiento. (Ton-mile).
T _d	Tonelada-milla en operaciones de perforación. (Ton-mile).
T _r	Tonelada milla para viajes redondos. (Ton-mile)
T _s	Tonelada milla para bajada de casing. (Ton-mile)
T _{st}	Tonelada-milla en operaciones de viaje corto. (Ton-mile).
W	Peso total levantado. (Lb)
W _{cl}	Peso efectivo de liner (peso total liner*factor de flotación). (lb/ft).
W _{cm}	Peso efectivo de casing (peso total casing*factor de flotación). (lb/ft).
WDS	Peso boyado de la sarta de perforación (BHA y drill pipe). (lb).
W _m	Peso efectivo de drill pipe (peso total DP*factor de flotación). (lb/ft).

GLOSARIO

ANCLA DE LA LÍNEA MUERTA: elemento del sistema de izaje que asegura el cable a un punto específico, impidiendo su libre desplazamiento.

BHA: bottom hole assembly o ensamblaje de fondo es el extremo inferior de la sarta de perforación, está compuesto por los elementos que se encuentran desde la broca a la tubería de perforación.

HOOK LOAD: peso total levantado por todo el sistema de izaje.

LÍMITE DE FLUENCIA Σ_Y : el límite elástico también puede ser dado por el límite de fluencia el cual es la tensión en la cual aumentan los alargamientos sin aumentar considerablemente la fuerza¹

LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD Σ_P : este límite se encuentra cuando deja de existir una relación lineal entre la tensión ejercida y la deformación².

LÍMITE ELÁSTICO CONVENCIONAL $\Sigma_{0,2}$: en algunas ocasiones no es posible determinar el límite elástico con la curva, debido a lo anterior, se usa el límite elástico convencional el cual es la tensión que genera un alargamiento a la muestra de 0,2 % de la longitud original³

LÍMITE ELÁSTICO Σ_E : es la tensión en la cual no se puede recuperar la longitud inicial de la muestra, es decir si se deja de aplicar tensión la muestra tendrá una longitud diferente a la inicial⁴.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Σ_U : es la tensión a la cual la muestra se rompe, se lo conoce también como tensión de rotura o tensión última del material.⁵

SARTA DE PERFORACIÓN: conjunto de tuberías usadas para la perforación de un pozo petrolero.

SISTEMA DE IZAJE: sistema de un equipo de perforación o workover, el cual permite elevar o bajar herramientas al pozo.

TAMBOR DE MALACATE: carrete de acero de gran diámetro, que consta de frenos, una fuente de alimentación y una variedad de dispositivos auxiliares, cuya función principal es desenrollar y enrollar la línea de perforación.

¹ Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid. pp.72

² Ibíd p.71

³ Ibíd p.72

⁴ Ibíd p.71

⁵ Ibíd p.72

TONELADA-MILLA: registro del trabajo de un cable de perforación, es la cantidad de toneladas levantadas por el cable a lo largo de una milla.

WORKOVER: operaciones de reacondicionamiento a pozos petroleros los cuales modifican el estado mecánico del pozo.

RESUMEN

Es fundamental para las compañías del sector petrolero disminuir los costos sin poner en riesgo las operaciones, la vida humana y los equipos. El cable de perforación es un elemento crítico en la perforación y mantenimiento de pozos, dada la eventualidad del rompimiento del cable por un ineficiente control se podrían generar desde grandes pérdidas económicas por daño a los equipos hasta pérdida de vidas humanas.

En este proyecto se presenta un método efectivo para poder realizar un aseguramiento total al cable de perforación, alargando al máximo su vida útil reduciendo costos, sin poner en riesgo vidas humanas y la integridad de los equipos. Para esto, se realizó un estudio de las operaciones y especificaciones de los equipos que afectan la integridad del cable, tomando como referencia las normas IADC, API RP 9B, API SPEC 9A, API RP 54, ISO 4309 y recomendaciones del fabricante, donde se evidenció que para el correcto desempeño del cable, es fundamental el estado del sistema de levante de los equipos, razón por la cual se evaluó este a 4 equipos y a partir de inspecciones visuales, dimensionales y pruebas no destructivas para descartar un daño prematuro por condiciones mecánicas en donde se concluyó que todos los elementos del sistema de izaje se encuentran dentro de la normatividad y no agregan un desgaste mecánico al cable. Adicionalmente, se determinaron las operaciones más relevantes para calcular el valor de tonelada-milla: Viaje completo, Perforación, Corazonamiento, Bajada de casing, Bajada de liner, Viaje corto, Martilleo y Tensión durante pegas de tubería. Posteriormente se diseñó la herramienta digital “Estrella Ton-mile” en el lenguaje de programación visual basic, la cual permite el cálculo óptimo de la variable tonelada-milla en campo y la cual discrimina si se usa un sistema de perforación de top drive o Kelly donde el primero disminuye en promedio un 56% la acumulación de tonelada-milla para esta operación. La herramienta Estrella ton-mile fue aplicada a 3 equipos de la compañía Estrella International Energy Services y se probó de manera indirecta al equipo E-1724, realizando una emulación de un pozo perforado y de manera directa a los equipos E-722 y E-1225, donde se le realizaron inspecciones visuales, dimensionales y de tensión al cable y se concluyó que para el equipo E-722 se genera un ahorro del 18,05% del cable de perforación y para el equipo E-1225 se optimiza el uso del cable en un 33,11%. Finalmente, para poder alargar la vida útil se elaboró una guía metodológica de buenas prácticas con el fin de disminuir el desgaste mecánico en todos los cables de perforación de la compañía.

Palabras clave: Cable, Perforación, Variable, Tonelada Milla, Aseguramiento, Herramienta digital, Vida útil, Reacondicionamiento, Cable de perforación.

ABSTRACT

It is essential for companies in the oil sector to reduce costs without putting operations, human lives, and equipment at risk. The drilling line is a critical element in the drilling and maintenance of wells, given the eventuality of the cable breaking due to inefficient control, it could generate from great economic losses due to damage to equipment to loss of human life.

In this project, an effective method is presented to be able to carry out a total insurance to the drilling line, extending its useful life to the maximum reducing costs, without putting human lives and the integrity of the equipment at risk. For this, a study of the operations and specifications of the equipment that affect the integrity of the wire rope was carried out, taking as reference the IADC standards, API RP 9B, API SPEC 9A, API RP 54, ISO 4309 and manufacturer's recommendations, where It showed that for the correct performance of the wire rope, the condition of the equipment lifting system is essential, which is why it was evaluated on 4 equipment and from visual, dimensional inspections and non-destructive tests to rule out premature damage due to mechanical conditions where it was concluded that all the elements of the lifting system are within the regulations and do not add mechanical wear to the wire rope. Additionally, the most relevant operations were determined to calculate the ton-mile value: Full trip, Drilling, Coring, Casing lowering, Liner lowering, Short trip, Hammering and Tension during stuck pipe. Subsequently, the digital tool "Estrella Ton-mile" was designed in the visual basic programming language, which allows the optimal calculation of the ton-mile variable in the field and which discriminates if a top drive or Kelly drilling system is used. where the first one decreases on average 56% the accumulation of ton-miles for this operation. The Estrella ton-mile tool was applied to 3 equipment from the Estrella International Energy Services company and indirectly tested on equipment E-1724, emulating a drilled well and directly on equipment E-722 and E- 1225, where visual, dimensional and tension inspections were carried out on the cable and it was concluded that for the E-722 equipment a saving of 18.05% of the drilling line is generated and for the E-1225 equipment the use of the cable by 33.11%. Finally, to extend the useful life, a methodological guide of good practices was prepared to reduce mechanical wear on all the company's drill cables.

Key words: Wire rope, Drilling Line, Variable, Ton Mile, Belay, Digital Tool, Useful Life, workover, Drill Cable.

INTRODUCCIÓN

El cable de perforación es conocido como el alma del sistema del levante en los equipos de perforación y workover, para realizar un correcto aseguramiento y prevenir rupturas inesperadas se deben analizar las operaciones y eventos que afectan las características iniciales del cable. Existen dos factores principales que afectan la integridad del cable; el primero hace referencia al desgaste operacional debido a las tensiones generadas por el peso de todas las herramientas que son alzadas por el sistema de izaje. El segundo factor es la relación que tiene el cable con el medio exterior desde el momento en que se adquiere hasta el fin de su operación, una mala relación y/o manipulación del cable puede generar daños mecánicos en este, disminuyendo así su vida útil. Para realizar la cuantificación del desgaste operacional, se emplea el método de tonelada-milla, el cual, calcula las toneladas levantadas durante una milla de operación. El desgaste mecánico solo es posible cuantificarlo a partir de inspecciones visuales, dimensionales y pruebas de tensión que evidencien la integridad del cable.

La compañía Estrella International Energy Services nace a partir de la fusión de dos compañías; Por una parte, San Antonio International la cual contaba con experiencia en el sector desde 1994 y por otra parte Estrella Petrolera, empresa creada en el año 2005 en Argentina. Estrella es la primera compañía en introducir equipos de alta tecnología (AC-VFD) en territorio colombiano. Actualmente Estrella IES presta diferentes servicios petroleros en Colombia, Argentina, Perú y Chile. Desde la gerencia de ingeniería y procesos, Estrella busca realizar un aseguramiento del cable de perforación en todas sus operaciones para así, aprovechar la vida útil total del cable aumentando su tiempo de uso, sin poner en riesgo la vida humana y la integridad de los equipos. Estrella cuenta con equipos de perforación y workover desde los 200 HP hasta los 2000 HP, equipos que se encuentran repartidos en todos los bloques a nivel nacional.

Según las investigaciones de Ossa Alex y Paniagua Aurelio⁶ quienes realizaron pruebas de tensión a dos diferentes cables que sufrieron fallas súbitas bajo condiciones de carga menor a la capacidad nominal, lograron determinar que el uso del cable puede generar una pérdida de la capacidad nominal de carga debido a la fatiga generada dentro de la operación.

De la misma forma, los estudios realizados por Elata David y Eshkenazy Ronny⁷, quienes analizaron los comportamientos mecánicos a diferentes cables de acero al ser sometidos a operaciones dentro de los parámetros de la carga nominal y

⁶ OSSA, Alex y PANIAGUA, Aurelio. Análisis de falla en cable de acero En: Ingeniería y ciencia ISSN 1794-9165. Septiembre de 2005 Vol. 1, nro 2, p 97-103

⁷ ELATA, David Y ESHKENAZY, Rony. En: Science direct Vol. 41, issues 5-6 2, 2004. pp 1157-1172

realizando pruebas dimensionales y de tensión, concluyeron que su desgaste operacional puede ser calculado de manera directamente proporcional a su uso.

De acuerdo con lo anterior, es fundamental para las compañías tener y aplicar correctamente un método, el cual, a partir del desgaste operacional de los cables se pueda determinar cuando finaliza su vida útil, además, es importante mantener buenas prácticas de uso del cable con el fin de evitar un daño mecánico al mismo.

Para la resolución del problema anteriormente descrito, se propuso como objetivo general: Asegurar la integridad del cable de perforación mediante el diseño de una herramienta digital para el cálculo de la variable tonelada-milla en operaciones de perforación y workover de la compañía Estrella International Energy Services, y como objetivos específicos:

- Cuantificar las variables operativas y especificaciones de los equipos que afectan el cálculo de la variable tonelada-milla.
- Diseñar una herramienta digital que permita el cálculo óptimo de la variable tonelada-milla en campo.
- Validar los resultados del cálculo de tonelada-milla dada por la herramienta digital desarrollada, a través de pruebas de laboratorio, comparando estos con el software preexistente y las recomendaciones del fabricante.
- Elaborar una guía metodológica: buenas prácticas de uso, compra, mantenimiento, inspección y almacenamiento del cable de perforación acorde con la normativa vigente y recomendaciones del fabricante.

Con este estudio se pretende alargar la vida útil del cable de perforación, sin poner en riesgo vidas humanas y la integridad de los equipos, a partir de una herramienta digital la cual permita calcular el desgaste operacional del cable basándose en la variable tonelada-milla y teniendo en cuenta las buenas prácticas de uso, compra, mantenimiento, inspección y almacenamiento del cable de perforación.

El cuerpo del presente trabajo de grado esta segmentado en tres capítulos: Marco teórico, Metodología y datos y Resultados y análisis. A lo largo de todos estos capítulos se desarrollan en su totalidad los objetivos propuestos anteriormente. En el capítulo de Marco Teórico se desarrolla parte del objetivo dos, explicando la base teórica de un cable de perforación y sus propiedades también, se presenta la descripción del lenguaje de programación en el cual se programó la herramienta digital. En el capítulo de metodología y datos se desarrollan los objetivos: uno, mostrando las especificaciones de los equipos que afectan directamente la integridad del cable y el estado actual de los equipos objetivo de la compañía y su relación con el cable de perforación, dos, describiendo el funcionamiento de la herramienta digital y los cálculos asociados a su uso y tres, formulando un programa de corrida y corte adecuado para los equipos asociados, la totalidad del objetivo tres

se encuentra en la parte final del documento en la sección de “Anexos” donde se describen las buenas prácticas de uso, compra, mantenimiento, inspección y almacenamiento del cable de perforación acorde con la normativa vigente y recomendaciones del fabricante. Finalmente, en el capítulo de resultados y análisis, se desarrolla la totalidad del objetivo cuatro donde se demuestra la validez de la herramienta digital realizando inspecciones visuales, dimensionales y de tensión a los cables que fueron sometidos a la herramienta digital y sus resultados fueron comparados con el software preexistente y las recomendaciones del fabricante.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se expone de manera general las características y usos de los equipos de perforación y workover, el funcionamiento del sistema de izaje y su utilidad en los diferentes equipos, la importancia del cable de perforación como su funcionamiento y sus características, la cuantificación del desgaste operativo a partir del cálculo de la variable tonelada-milla, las características básicas de una gráfica resultante de un ensayo de tracción simple y la descripción del lenguaje de programación en el cual fue desarrollada la herramienta digital “Estrella Ton-mile”.

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. Estos Equipos 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 potencia⁸.

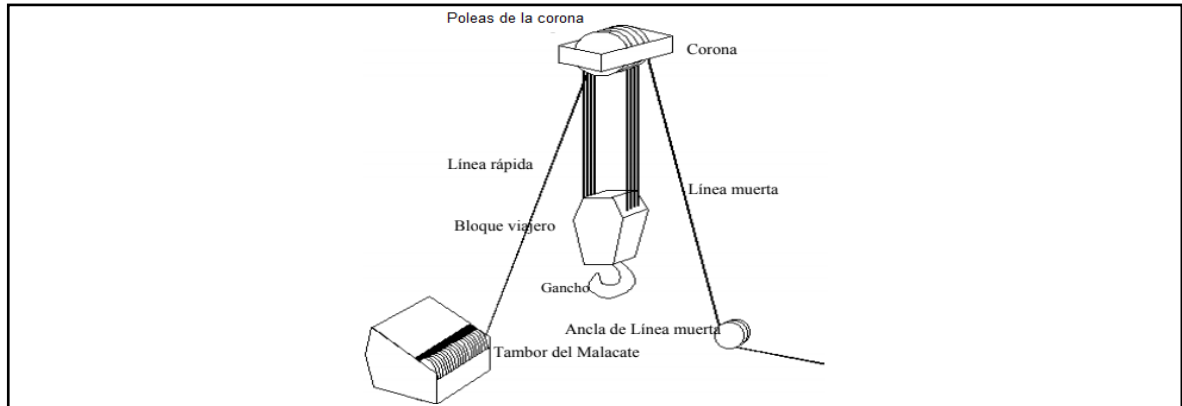
1.2 SISTEMA DE IZAJE

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

⁸ Petroland. Workover, [En línea]. Bogotá.: 2017. [Consultado 11, febrero, 2020]. Disponible en: <https://www.petrolandsas.com/work-over-2/>

levantado (hook load) a través de las líneas, disminuyendo así, la fuerza requerida para poder levantarlo.⁹ 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 (Figura 1).

Figura 1. Sistema de poleas equipos de perforación y workover.



Fuente: DATALOG. Manual de perforación, procedimientos y operaciones en el pozo, 3 versión. Alberta: 2001 p 19.

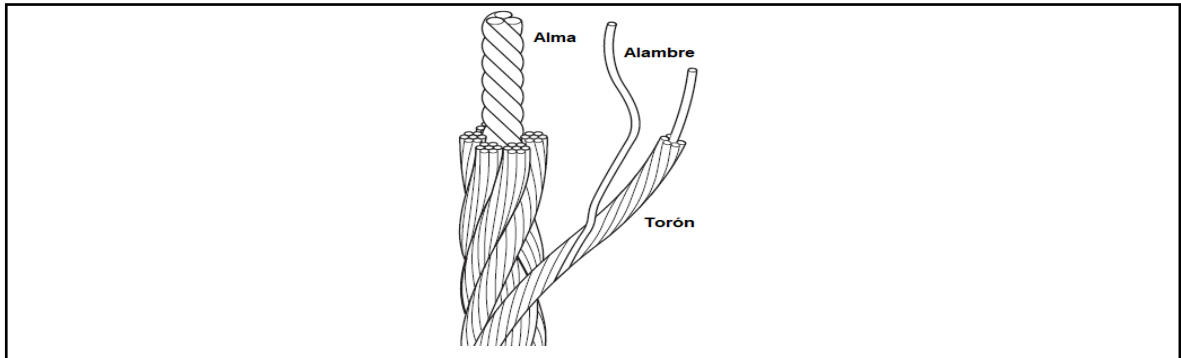
1.3 CABLES DE PERFORACIÓN

Los cables son una intrincada red compuesta de alma, torones y alambres. La función principal de esta red es transmitir la energía mecánica a lo largo de todo el sistema de levantamiento (Figura 2). Cada una de estas partes trabaja en perfecta sincronía con las demás. El cuidado y el manejo adecuado es obligatorio para recibir el máximo servicio al más alto nivel de seguridad¹⁰.

⁹ INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 14. ISBN: 978-0-9915095-7-7

¹⁰ Ibíd pp. 1

Figura 2. Partes del cable de perforación.



Fuente: IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 1

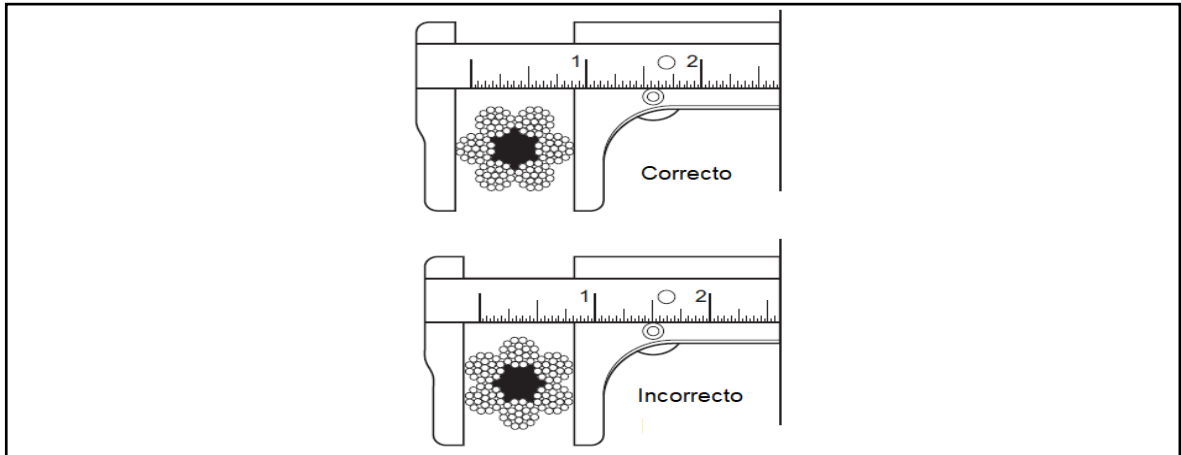
1.3.1 Diámetro. El diámetro es una de las características más importantes del cable, le proporciona rigidez y resistencia. Entre más grande es el diámetro mayor resistencia tendrá el cable, sin embargo, su maleabilidad será más baja. Es importante realizar una medición adecuada para poder determinar el diámetro real que tiene cada cable, esta se debe realizar desde el punto más alto de un torón hasta el punto más bajo del torón que se encuentra en la contraparte del primer torón (Figura 3). Según la IADC, existen diferentes tolerancias en los diámetros de fabricación del cable, en la tabla 1 se ilustran estas tolerancias.

Tabla 1. Diámetro del cable vs. Tolerancias

Diámetro del cable (Pulgadas)	Tolerancia inferior al diámetro (%)	Tolerancia superior al diámetro (%)
3/16	0	7
7/32	0	6
1/4	0	6
5/16	0	6
3/8 y mayores	0	5

Fuente: Elaboración propia basado en IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 2

Figura 3. Método correcto de medición del diámetro.



Fuente: IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 2.

1.3.2 Clasificación y construcciones. La resistencia del cable depende directamente de la cantidad de torones y alambres por torón que tiene el cable, este dato se denota según la nomenclatura internacional expuesta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación por número de torones y alambres.

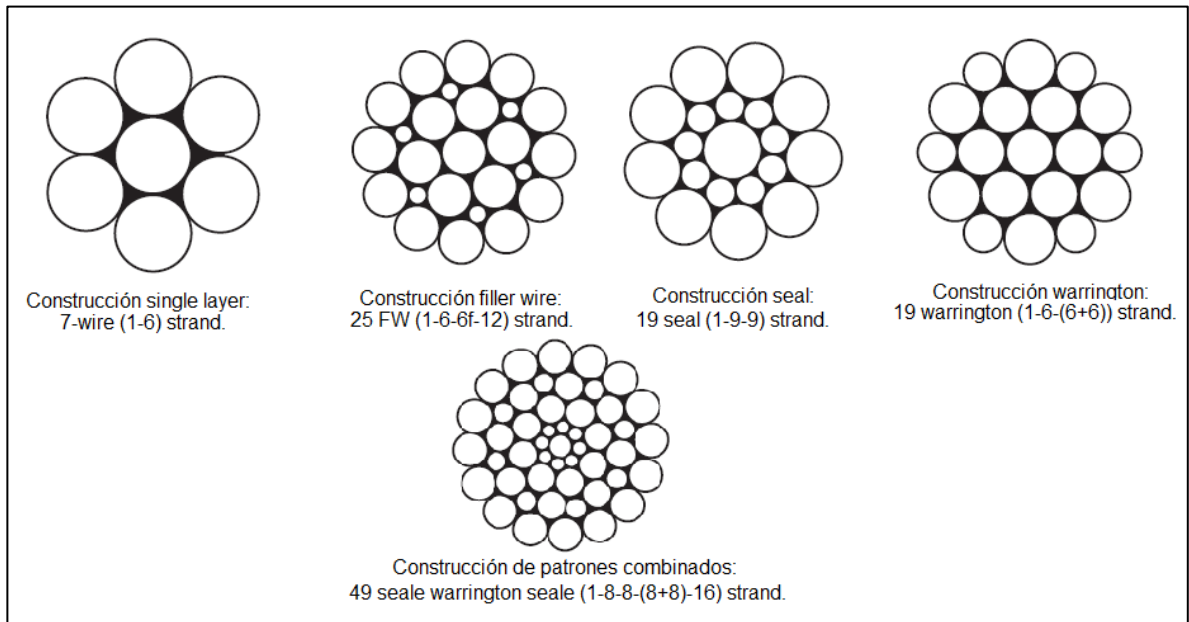
Clasificación.	Número de torones.	Alambres por torón.
6x7	6	7
6x19	6	16-26
6x37	6	27-49
8x19	8	16-26

Fuente: elaboración propia basado en IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 2

1.3.2.1 Construcción de torones. El diseño de los torones afecta directamente características del cable como la resistencia a la fatiga y la resistencia a la abrasión. Los alambres se pueden ubicar en el torón de diferente manera e incluso pueden variar los diámetros de estos en el torón (Figura 4). Según la IADC¹¹ la clasificación según la construcción de los torones es la siguiente:

¹¹ IADC. Op.cit, pp 2-3

Figura 4. Ejemplos de construcción de torones.



Fuente: IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 3-4.

- **Single layer.** Es el modelo básico para la construcción de torones, el ejemplo más común es con un alambre sencillo en el centro rodeado por una capa de 6 alambres todos del mismo diámetro.
- **Filler wire.** Esta construcción tiene dos capas de igual diámetro de alambres alrededor de un alambre central, en el intermedio de las dos capas existe otra de menor diámetro y con la mitad de los alambres de la capa exterior. La capa exterior tiene el doble de alambres que la capa interior.
- **Seal.** La construcción seal posee dos capas de alambres alrededor de un alambre central, las dos capas poseen el mismo número de alambres, sin embargo, la capa interior es de menor diámetro.
- **Warrington.** Posee dos capas de alambres que rodean un alambre central, todos los alambres de la capa interior poseen el mismo diámetro y los alambres de la capa exterior posee 2 diámetros diferentes que se intercalan. Los alambres de mayor diámetro reposan en las cavidades de la capa interior.

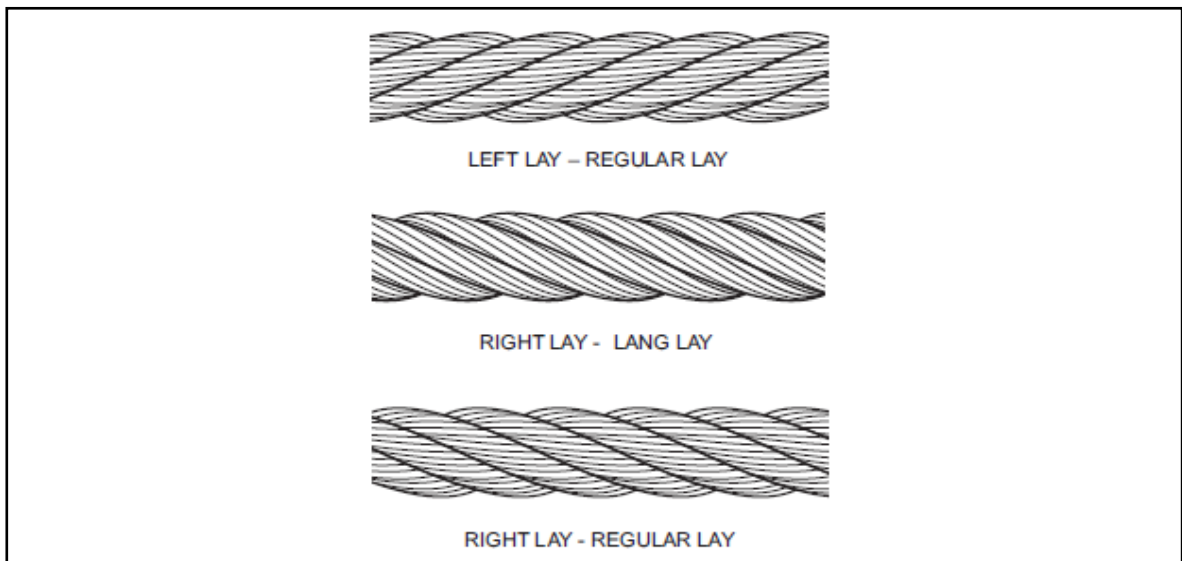
- **Patrones combinados.** Para operaciones específicas, se puede construir torones basándose en las construcciones antes mencionadas, estos diseños específicos son llamados patrones combinados.

1.3.2.2 Preformado del cable. El preformado es el proceso donde se le da la forma helicoidal a los alambres y a los torones en el cable. La forma helicoidal del cable genera una mayor resistencia a la torción durante las operaciones, además, aumenta la resistencia a la fatiga y proporciona estabilidad al cable siendo así más fácil el manejo de este.

El primer elemento que se debe tener en cuenta en el preformado del cable es la dirección de los torones en el cable, estos pueden ir hacia la derecha o izquierda (right or left).

El segundo elemento que se debe tener en cuenta es la relación entre la dirección de los torones y la dirección de los alambres en el torón. Cuando los alambres están en la dirección contraria a la dirección del torón la denominación es regular lay, si los alambres están en la misma dirección que el torón su denominación es Lang lay (Figura 5). Para dar una nomenclatura completa se menciona primero la dirección de los torones y luego la dirección de los alambres¹².

Figura 5. Ejemplos de preformado de cables.

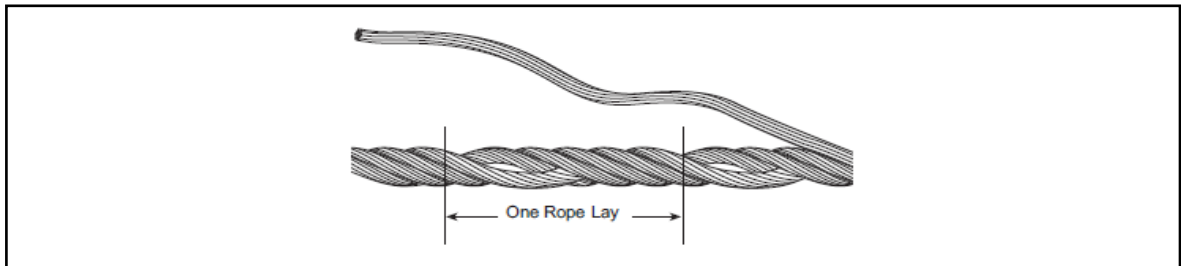


Fuente: IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 4

¹² IADC. Op.cit, pp 3-4

El tercer elemento que se debe tener en cuenta es el paso, este es la longitud axial a lo largo del cable donde un torón da la vuelta completa de forma helicoidal alrededor del alma (Figura 6). El paso debe ser constante durante toda la vida útil del cable, si durante la inspección el paso aumenta o disminuye el cable debe ser remplazado inmediatamente.

Figura 6. One rope lay



Fuente: IADC. Drilling manual, 7th edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 4

1.3.2.3 Grados. El grado del cable define la resistencia de un cable nuevo dependiendo los materiales de construcción y sus recubrimientos. Los grados de los cables para la industria petrolera son: Improved Plow Steel (IPS), Extra Improved Plow Steel (EIP) y Extra-Extra Improved Plow Steel (EEIP)¹³.

Un cable de 6 torones estándar IWRC y EIP tiene una resistencia nominal 15% mayor a un IPS, sin embargo, el mismo cable con un grado EEIP tiene un 10% más de resistencia que un EIP.

Los cables galvanizados son aquellos que tienen en cada uno de sus alambres un recubrimiento de zinc, este recubrimiento incrementa la resistencia a la corrosión¹⁴.

1.3.2.4 Almas. Las almas en los cables de perforación son generalmente de 3 tipos.

- **Fiber core.** Son almas de fibra natural como el sisal o fibra artificial como el polipropileno
- **Independent wire rope core (IWRC).** El alma es un cable independiente sin ninguna relación con los torones.
- **Strand Core.** El alma es exactamente igual a los torones que la rodean.

¹³ IADC. Op.cit, pp 4

¹⁴ IADC. Op.cit, pp 4

1.3.3 Variable Tonelada-Milla. El desgaste de un cable de perforación se da principalmente en los puntos de contacto entre el cable y las poleas, estos puntos son denominados puntos críticos. Antes de 1940 cuando se observaba un desgaste en estos puntos se retiraba todo el cable del equipo así, lo demás estuviera en buen estado. La variable tonelada-milla es un método para el cálculo del desgaste operativo a partir de las tensiones que generan las diferentes operaciones, una tonelada-milla representa la cantidad de toneladas levantadas en una milla de desplazamiento del cable. El objetivo de usar el método de la variable-tonelada-milla es desplazar los puntos críticos del cable sin remplazar todo el sistema y sin poner en riesgo la integridad de los equipos y la vida humana¹⁵.

La tonelada-milla se apoya en un programa de corrida y corte del cable de perforación que debe cumplirse a cabalidad para obtener el mayor servicio del cable disminuyendo así los costos, sin embargo, existen factores mecánicos los cuales generan un desgaste adicional y los cuales no se tienen en cuenta para el cálculo de la variable tonelada-milla, por lo que se hace necesario realizar inspecciones visuales y dimensionales al cable periódicamente según las operaciones lo permitan¹⁶.

Las normas aplicables en Colombia que rigen el cálculo de esta variable y las buenas prácticas de compra, almacenamiento, inspección, uso y mantenimiento del cable son la API 9A y 9B y el IADC Drilling manual en el capítulo Wire rope.

1.4 ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE¹⁷

Un ensayo de tracción simple tiene como objetivo la caracterización mecánica de los materiales. En el ensayo se usa una probeta mecanizada (muestra) de una longitud inicial denominada L_0 , de la misma muestra se tiene el área denominada Ω_0 . La muestra se sujeta por sus extremos y se empieza a aplicar una fuerza ascendente (F) a una velocidad normalizada, la cual estira la muestra una longitud ΔL . La longitud de la muestra se muestra en la ecuación 1

¹⁵ IADC. Op.cit, pp 20

¹⁶ EMCOCABLES, 2020

¹⁷ Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid pp 71-74.

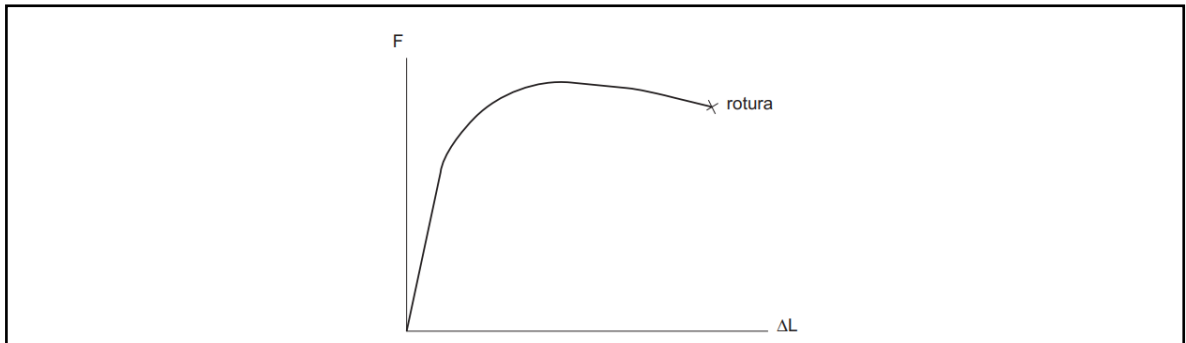
Ecuación 1. Longitud de la muestra durante el ensayo de tracción.

$$L = L_0 + \Delta L$$

Fuente: Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid pp 71.

El ensayo termina cuando se llega a la tensión de rotura y la muestra se rompe. El resultado principal de la prueba es generar la curva F vs ΔL (Gráfica 1). El pico de fuerza se da antes de la rotura debido a la disminución del área transversal (Ω_0) de la muestra al producirse el estiramiento final.

Gráfica 1. Resultado ensayo de tracción.



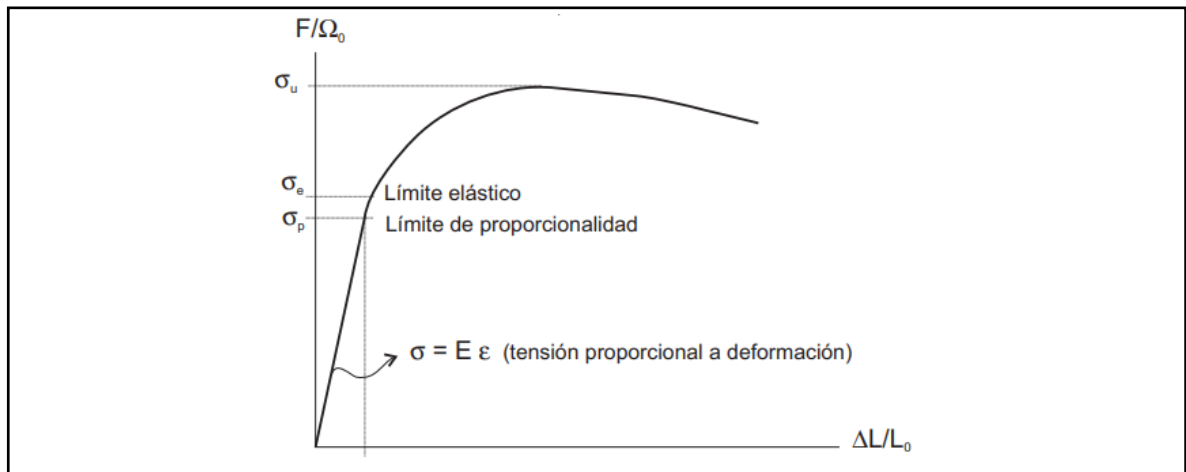
Fuente: Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid pp 73.

Los valores relevantes que se pueden determinar en un ensayo de tracción son:

- Límite de proporcionalidad σ_p .
- Límite elástico σ_e .
- Resistencia a la tracción σ_u .

Para cuantificar las características antes mencionadas a partir de la prueba se realiza la curva de F / Ω_0 Vs. $\Delta L / L_0$ (Gráfica 2)

Gráfica 2. Características de un cable en un ensayo de tracción.



Fuente: Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid pp 73.

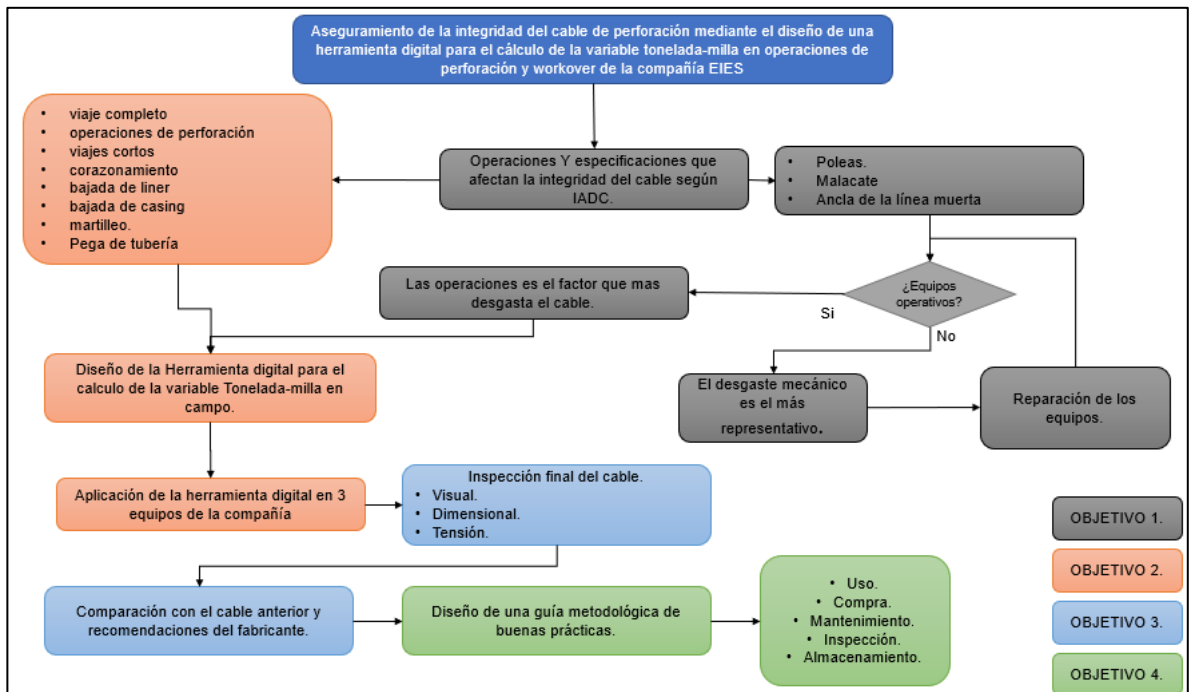
1.5 DESCRIPCION DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

El lenguaje de programación en el cual se programó la herramienta digital es Visual basic el cual es una herramienta de visual studio desarrollada por Microsoft el cual está dirigido por eventos, tiene la opción de diseñador el cual permite al programador observar en tiempo real el boceto de la aplicación a partir de objetos como botones, label, entre otros y programar directamente su función en toda la aplicación. Visual basic presenta un código sencillo e intuitivo el cual puede tener interacción con aplicaciones fuera del programa. El cálculo de la variable tonelada-milla se basa en funciones matemáticas que varían según la operación realizada por ende el lenguaje de visual basic cumple con las funciones necesarias para generar este valor. La licencia de visual studio community es una licencia de código abierto para estudiantes, investigadores y demás público en general.

2. METODOLOGÍA Y DATOS

En este capítulo se muestran los procedimientos y métodos que se siguieron para el cumplimiento de cada uno de los objetivos, además, se exponen los datos de los equipos que se usaron para el desarrollo del proyecto (Figura 7).

Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología.



Fuente: elaboración propia

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 Estrella International Energy Services, por lo tanto, no se mencionan las características de los equipos que la compañía considere y/o no hagan parte de los equipos objetivo de estudio E-707, E-722, E-1225, E-1724.

2.1.1 E-707. Equipo de perforación de 750 HP mecánico; en este equipo se verificó el estado de las partes que componen su sistema de izaje como parte del objetivo uno, y la herramienta digita “Estrella ton mile” calcula el cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte a partir de los datos que se exponen en la tabla 3.

Tabla 3. Características del equipo E-707 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.

Equipo	E-707
Diámetro tambor del malacate. (In)	18
Altura de la torre (ft).	112
Cantidad de líneas.	10
Diámetro nominal del cable. (In)	1 1/8

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

2.1.2 E-1724. Equipo de perforación de 1700 HP eléctrico; en este equipo se verificó el estado de las partes que componen el sistema de izaje como parte del objetivo 1, la herramienta digita “Estrella ton mile” calcula el cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte a partir de los datos que se exponen en la tabla 4, perforó el pozo FUA 1 con los BHA’s que se encuentran en la tabla 5 y se usaron los revestimientos que se exponen en la tabla 6. Las operaciones relevantes que agregan desgaste operativo al cable en la perforación de este pozo se encuentran en la tabla 7. La herramienta digital “Estrella ton-mile” se aplicó en este equipo de manera indirecta realizando la emulación del pozo FUA 1 en el programa.

Tabla 4. Características del equipo E-1724 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.

Equipo	E-1724
Diámetro tambor del malacate. (In)	28
Altura de la torre (ft).	142
Cantidad de líneas.	12
Diámetro nominal del cable. (In)	1 3/8

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 5. Características de los BHA's usados en la perforación del pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.

BHA	BHA 1		BHA 2				BHA 3	
	Peso	Longitud (ft)	Peso	Longitud (ft)			Peso	Longitud (ft)
		9-feb-20		11-feb-20	12-feb-20	13-feb-20		16-feb-20
Drill pipe	15,5 (lb/ft)	N/A	15,5 (lb/ft)	N/A	N/A	N/A	15,5(lb/ft)	N/A
Ensamblaje viajero	32000 (lb)	N/A	32000 (lb)	N/A	N/A	N/A	32000 (lb)	N/A
Drill collar 1	148(lb/ft)	59,05 (ft)	90,61 (lb/ft)	181,91 (ft)	181,91 (ft)	181,91 (ft)	90,61(lb/ft)	181,91 (ft)
Drill collar 2	90,61 (lb/ft)	92,49 (ft)	0	0	0	0	0	0
Drill collar 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Heavy weight Drill pipe	0	0	57,93 (lb/ft)	451,5 (ft)	513,74 (ft)	513,74 (ft)	57,93(lb/ft)	451,5 (ft)
Lodo de perforación	8,6 ppg	N/A	8,8 ppg	N/A	N/A	N/A	9,2 ppg	N/A
Parada	94 (ft)	N/A	94 (ft)	N/A	N/A	N/A	94 (ft)	N/A

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 6. Características de los revestimientos usados en el pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.

	CASING 1	CASING 2	TUBING
Diámetro nominal (In)	13 3/8	9 5/8	3 1/2
Peso por pie (lb /ft)	48	47	15,8
Longitud promedio de una junta (ft)	40	40	40

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 7. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 1 perforado por el equipo E-1724.

FUA 1	
fecha	Operación.
9-feb	perforó con BHA 1 de 41' a 465'
	Viaje de BHA 1 de 465' a 0'
10-feb	Corrida de casing 1, de 0' a 463'
11-feb	Viaje BHA 2 desde 0' a 434'
	Perforó sección 2 de 434' a 1350'
12-feb	perforación sección 2 de 1350' a 4013'
13-feb	Perforación sección 2 de 4013' a 4851'
	Viaje de BHA 2 de 4851' a 1257'
14-feb	Viaje de BHA 2 1257' a 0'
15-feb	Corrida de Casing de 0' a 4850'
16-feb	Viaje BHA 3 de 0' a 138'
17-feb	Viaje BHA 3 de 138' a 4851'
18-feb	Perforación sección 3 de 4851' a 5857'
	Viaje BHA 3 de 5857' a 5069'
	Viaje BHA 3 de 5069' a 5857'
	Viaje BHA 3 de 5857' a 0'
24-feb	Corrida tubing de 0' a 3523'

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

2.1.3 E-722. Equipo de perforación de 750 HP mecánico, en este equipo se verificó el estado de las partes que componen el sistema de izaje como parte del objetivo 1, la herramienta digita “Estrella ton mile” calcula el cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte a partir de los datos que se exponen en la tabla 8, perforó el pozo FUA 2 en el cual se tomó un promedio de los BHA's y revestimientos usados y este se muestra en la tabla 9. Las operaciones relevantes que agregan desgaste operativo al cable en la perforación de este pozo se encuentran en la tabla 10 y las características iniciales del cable de perforación que usa el equipo se encuentran en la tabla 11. La herramienta digital “Estrella ton-mile” se aplicó en este equipo de manera directa durante la perforación del pozo FUA 2 y se realizaron pruebas visuales, dimensionales y de tracción al cable para determinar su estado.

Tabla 8. Características del equipo E-722 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.

Equipo	E-722
Diámetro tambor del malacate. (In)	18
Altura de la torre (ft).	118
Cantidad de líneas.	10
Diámetro nominal del cable. (In)	1 1/8

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 9. Características de los BHA's promedio usados en la perforación del pozo FUA 2 perforado por el equipo E-722.

Pozo	FUA 2	
	Peso	Longitud
Característica		
Drill pipe	14 (lb/ft)	N/A
Ensamblaje viajero	24000 (lb)	N/A
Drill collar 1	90 (lb/ft)	200 (ft)
Drill collar 2	0	0
Drill collar 3	0	0
Heavy weight Drill pipe	29 (lb/ft)	175 (ft)
Lodo de perforación	9 ppg	N/A
Parada	N/A	62 (ft)
Revestimiento	23 (lb/ft)	40 (ft/junta)

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 10. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 2 perforado por el equipo E-722.

FUA 2	
Fecha	Operación
5-ene	Perforó desde 0' a 267'
	Viaje desde 267' a 0'
	Bajó casing de 0' a 242'
	Viaje desde 0' a 255'
	Perforó desde 255' a 663'
6-ene	Perforó desde 663' a 2313'
	Viaje desde 2313' a 223'
	Viaje desde 223' a 2313'
	perforó desde 2313' a 2525'
7-ene	perforó desde 2525' a 4114'
8-ene	perforó desde 4114' a 4801'
	viaje desde 4801' a 0'
	Bajó casing de 0' a 4795'
9-ene	Viaje desde 0' a 4787'
	Viaje desde 4787' a 0'
10-ene	viaje desde 0' a 4801'
11-ene	perforó desde 4801' a 5735'
	Viaje desde 5735' a 0'

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 11. Diámetro y tensión de ruptura del cable del E-722 para pruebas en condición de nuevo.

Cable	Diámetro inicial (In)	Tensión de ruptura inicial (lbf)
E-722, 1 1/8" 6x19 EIP right Regular lay	1,175	132511,1

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

2.1.4 E-1225. Equipo de perforación de 1500 HP mecánico, en este equipo se verificó el estado de las partes que componen el sistema de izaje como parte del objetivo 1, la herramienta digita “Estrella ton mile” calcula el cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte a partir de los datos que se exponen en la tabla 12, perforó el pozo FUA 3 en el cual se tomó un promedio de los BHA’s y revestimientos usados y este se muestra en la tabla 13. Las operaciones relevantes que agregan desgaste operativo al cable en la perforación de este pozo se encuentran en la tabla

14 y las características iniciales del cable de perforación que usa el equipo se encuentran en la tabla 15. La herramienta digital “Estrella ton-mile” se aplicó en este equipo de manera directa durante la perforación del pozo FUA 3 y se realizaron pruebas visuales, dimensionales y de tracción al cable para determinar su estado.

Tabla 12. Características del equipo E-1225 para el cálculo del cable mínimo de enhebrado y el objetivo de corte.

Equipo	E-1225
Diámetro tambor del malacate. (In)	25
Altura de la torre (ft).	127
Cantidad de líneas.	12
Diámetro nominal del cable. (In)	1 1/4

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 13. Características de los BHA's promedio usados en la perforación del pozo FUA 3 perforado por el equipo E-1225.

Pozo	FUA 3	
	Peso	Longitud
Drill pipe	19,5 (lb/ft)	N/A
Ensamblaje viajero	32000 (lb)	N/A
Drill collar 1	92 (lb/ft)	100 (ft)
Drill collar 2	92 (lb/ft)	120 (ft)
Drill collar 3	0	0
Heavy weight Drill pipe	49,5 (lb/ft)	500 (ft)
Lodo de perforación	9 ppg	N/A
Parada	N/A	94 (ft)
Revestimiento	29 (lb/ft)	40 (ft/junta)

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 14. Operaciones básicas realizadas para la perforación del pozo FUA 3 perforado por el equipo E-1225.

FUA 3	
Fecha	Operación
6-ago	Perforó de 0' a 2248'
7-ago	Viaje de 2248' a 0'
8-ago	Bajo casing de 0' a 2241'
9-ago	Viaje de 0' a 2180'
	Perforó de 2180' a 2248'
	Viaje de 2248' a 0'
10-ago	viaje de 0' a 2248'
11-12 ago	Perforó de 2248' a 7861'
13-ago	Viaje de 7861' a 0'
14-ago	Bajo casing de 0' a 7854'

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Tabla 15. Diámetro y tensión de ruptura del cable del E-1225 para pruebas en condición de nuevo.

Cable	Diámetro inicial (In)	Tensión de ruptura inicial (lbf)
E-1225, 1 1/4" 6x19 EIP right Regular lay	1,29	160933

Fuente: elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

2.2 ESPECIFICACIONES QUE AFECTAN LA INTEGRIDAD DEL CABLE

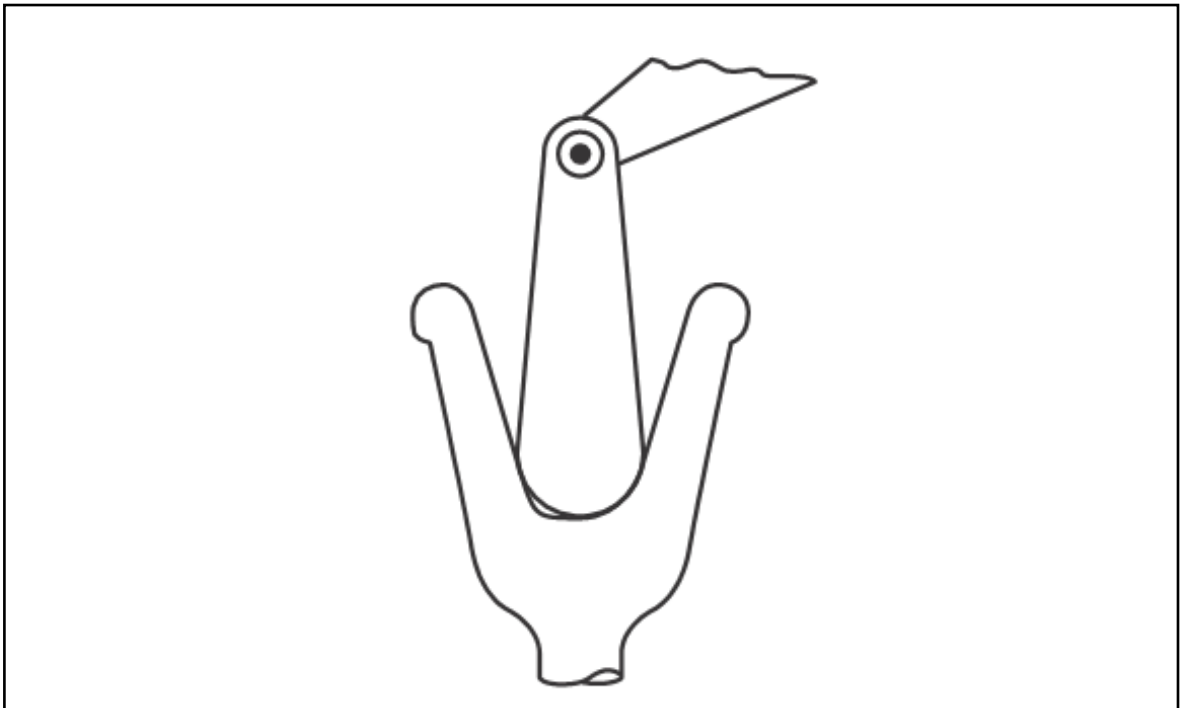
El desgaste mecánico por la interacción entre el sistema de levantamiento y el cable está relacionado con el buen estado de las poleas, el tambor del malacate y el ancla de la línea muerta¹⁸. El ángulo de entrada a la primera polea es un valor que define el fabricante del equipo, lo cual hace que sea el acorde para la operación del cable y no afecta la integridad de este. De la misma forma la longitud del tambor del malacate está definido por el fabricante y no afecta la integridad del cable.

Se evaluaron las condiciones en que se encuentran las poleas, el tambor del malacate y el ancla de la línea muerta a partir de inspecciones realizadas por empresas especializadas, las cuales aseguran el correcto funcionamiento de todo el sistema de izaje. Los equipos objetivo para esta prueba fueron: E-707, E-722, E-1225 y E-1724.

¹⁸ INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 pp. 13-14

2.2.1 Poleas. Para evitar desgaste del cable por un ángulo muy pronunciado, se recomienda que el diámetro de las poleas sea mínimo de 20 veces el diámetro nominal del cable y tan grande como el equipo lo permita. La profundidad máxima de la garganta de la polea es de 1,75 veces el diámetro nominal del cable¹⁹ y se debe asegurar que bajo el patrón (galga) no exista ningún paso de luz (Figura 8).

Figura 8. Polea defectuosa por paso de luz.



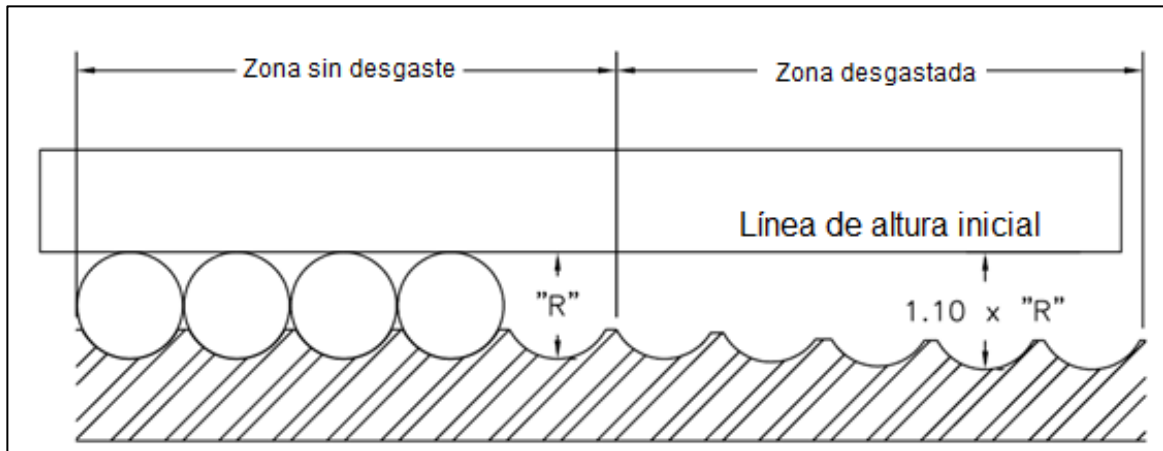
Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Aplicación, cuidado y uso de cables para servicio petrolero, 13 edición. USA: API 9b, 2011 pp. 22

2.2.2 Tambor del malacate y ancla de la línea muerta. El estado operativo del tambor del malacate y el ancla de la línea muerta depende directamente de cómo es su estructura interna, para determinar si tiene algún fallo se emplean técnicas de inspección como partículas magnéticas, tintas penetrantes entre otras. La profundidad máxima de los canales del tambor y el ancla es de 1,1 veces el diámetro

¹⁹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Aplicación, cuidado y uso de cables para servicio petrolero, 13 edición. USA: API 9b, 2011 pp. 21

nominal del cable²⁰ (Figura 9). Las inspecciones en condición “operativo” muestran que los equipos se encuentran por debajo del desgaste máximo.

Figura 9. Desgaste máximo en canales para tambores y anclas.



Fuente: LEBUS INTERNATIONAL INCORPORATION, Groove inspection. USA: Texas 2011 DWG: P3287-501A, CI: 17798

2.3 HERRAMIENTA DIGITAL ESTRELLA TON MILE

Estrella Ton-mile es una herramienta digital que permite el cálculo de la variable tonelada-milla de forma óptima en campo, adicionalmente calcula la distancia de cable a correr y cortar según sea la cantidad de tonelada-milla acumulada en el cable. La herramienta digital limita la acumulación de tonelada-milla a partir del objetivo de corte dado por el fabricante.

2.3.1 Diseño de la herramienta digital. El software fue desarrollado en el lenguaje Visual basic .net en Visual studio community 2019 el cual es un IDE gratuito para estudiantes, colaboradores de código abierto y usuarios particulares. El usuario del programa Estrella ton-mile debe asegurar la licencia de office y Windows en los equipos donde se ejecutará el programa.

Estrella Ton-mile se basa en las ecuaciones propuestas por la IADC en su manual DRILLING MANUAL²¹ y en la API RP 9B, donde se expone el método para la cuantificación del desgaste mecánico del cable a partir de la variable tonelada-milla.

²⁰ LEBUS INTERNATIONAL INCORPORATION, Groove inspection. USA: Texas 2011 DWG: P3287-501A, CI: 17798

²¹ INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope . ISBN: 978-0-9915095-7-7

debido a que el método anterior cuantifica únicamente el desgaste operativo del cable, se debe asegurar que el desgaste mecánico sea un valor despreciable en el cable en donde se puede aproximar el desgaste operativo al desgaste total.

Al abrir la herramienta digita Estrella Ton-mile se debe seleccionar en qué tipo de equipo se encuentra; perforación o workover (figura 10), después, se despliega una pantalla en la cual debe seleccionar el equipo en el que se encuentra (figura 11), finalmente se despliega la pantalla donde se pueden realizar los cálculos de tonelada-milla para cada una de las operaciones (figura 12).

Figura 10. Pantalla inicial Estrella Ton-mile.



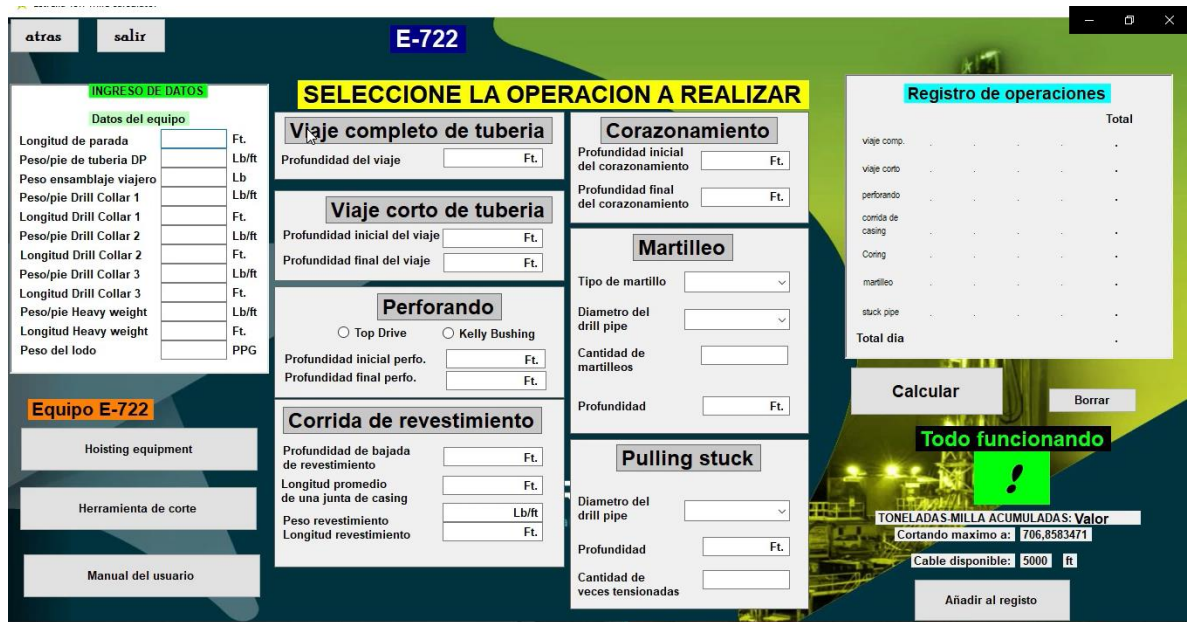
Fuente: ESTRELLA Ton-mile

Figura 11. Selección de tipo de equipo en operación en Estrella Ton-mile.



Fuente: ESTRELLA Ton-mile

Figura 12. Pantalla para el cálculo de Tonelada-milla en la herramienta Estrella Ton-mile.

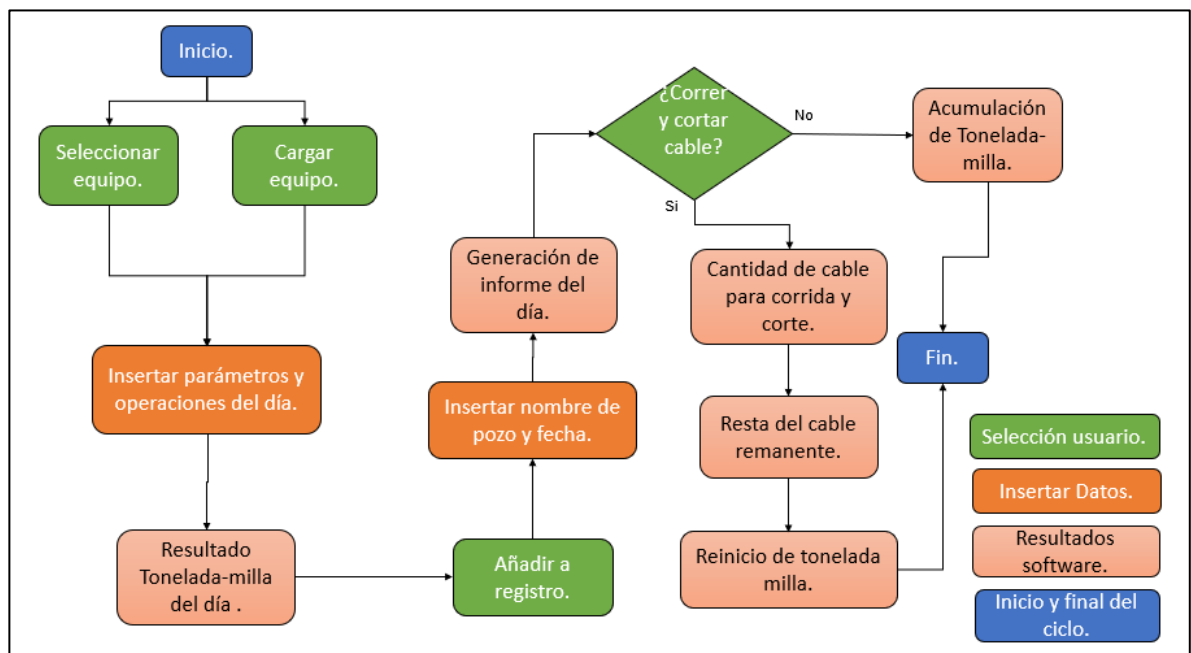


Fuente: ESTRELLA Ton-mile

La herramienta digital fue probada de forma indirecta realizando la simulación de la perforación de un pozo real y comparando con la herramienta digital preexistente, además se probó en dos equipos de forma directa durante las operaciones de perforación y completamiento.

2.3.2 Funcionamiento de la herramienta digital. La herramienta se diseñó para que internamente realice los cálculos necesarios para determinar la variable tonelada-milla, calcule la longitud de corrida y corte según sea el equipo y la tonelada-milla acumulada y la cantidad de cable remanente en el carrete (Figura 13).

Figura 13. Diagrama de flujo funcionamiento de Estrella Ton-mile



Fuente: elaboración propia.

2.3.3 Cálculo de la Tonelada-milla. Debido a que no se puede utilizar un cable hasta su rotura, se emplea el método de tonelada milla para tener un valor aproximado sobre el desgaste actual. Este se refiere al levantamiento de un peso en toneladas cortas (2000 lb) a lo largo de una milla (1,6 Km, 5280 Ft). Para poder cuantificar este valor, es necesario cuantificar el ciclo de todas las operaciones que

componen la perforación teniendo en cuenta la longitud de la parada y el peso²². Las operaciones que pueden agregar un desgaste operativo al cable son:

- Viaje completo
- Operaciones de perforación
- Operaciones de corazonamiento
- Bajada de casing
- Bajada de liner
- Viaje corto y operaciones de pesca
- Operaciones de martilleo
- Tensionando en pega de tubería

2.3.3.1 Viaje completo. Esta es una de las operaciones más comunes que se presentan en las actividades de perforación, siendo viaje completo un viaje de ida o vuelta. Esta operación es la base para calcular la tonelada milla de todas las operaciones y se encuentra expresada en la ecuación 2. El cálculo de factor de flotación en la ecuación 3 está relacionado para los pesos sumergidos de la tubería.

Ecuación 2. Tonelada-milla para operaciones de viaje completo.

$$T_r = \frac{D(L_s + D)W_m}{10,560,000} + \frac{D(M + \frac{1}{2}C)}{2,640,000}$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 74 WR-A1. ISBN: 978-0-9915095-7-7

Si se tiene BHA (motor de fondo, MWD, etc.) y HWDP, debe agregar ese peso en cálculo también como un drill collar adicional.

Ecuación 3. Factor de flotación.

$$FF = \frac{65.5 - mw}{65.5}$$

Fuente: CENGEL, Yunus A (2000). *Mecánica de fluidos*. p 91

²² INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 4 pp. 1

2.3.3.2 Operaciones de perforación. La variable tonelada-milla para operaciones de perforación con top drive puede cuantificarse en la ecuación 4.

Ecuación 4. Tonelada-milla para operaciones de perforación con top drive.

$$T_d = ((l_2 - l_1) * (3 * WDS + 4M)) / (10560000)$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 30. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.3.3 Operaciones de corazonamiento. Para cuantificar el desgaste por operaciones de corazonamiento se parte de las operaciones de viaje completo y se adecua según la ecuación 5.

Ecuación 5. Tonelada-milla para operaciones de corazonamiento.

$$T_c = 2(T_4 - T_3)$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 75 WR-A2. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.3.4 Bajada de casing. A partir de la definición del viaje redondo se obtiene la ecuación 6.

Ecuación 6. Tonelada-milla para operaciones de bajada de casing.

$$T_s = \frac{D(L_{cs} + D)W_{cm}}{10,560,000} + \frac{DM * 1/2}{2,640,000}$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 75 WR-A2. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.3.5 Bajada de liner. Teniendo en cuenta la ecuación 6, solo se modificarán los parámetros de casing a liner como se muestra en la ecuación 7.

Ecuación 7. Tonelada-milla para operaciones de bajada de liner.

$$T_s = \frac{D(L_l + D)W_{cl}}{10,560,000} + \frac{DM * 1/2}{2,640,000}$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 75 WR-A2. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.3.6 Viaje corto y operaciones de pesca. El viaje corto puede ser de una profundidad mayor a una menor o viceversa. A partir del viaje redondo se cuantifica la tonelada milla para viaje corto. Debido a la similitud de esta operación con la operación de pesca la IADC iguala la pesca y el viaje corto a la ecuación 8.

Ecuación 8. Tonelada-milla para operaciones de viaje corto.

$$T_{st} = (T_5 - T_6)$$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 75 WR-A2. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.3.7 Operaciones de martilleo. No existe un cálculo directo donde se pueda cuantificar el valor de tonelada-milla en operaciones de martilleo, sin embargo, la IADC²³ realiza una adaptación para calcular el desgaste del cable a partir de estas operaciones, donde, dependiendo el martillo “bumper jar” (Anexo A), o martillo tipo “oil jar” (Anexo B), la profundidad del martillo y el tipo de tubería se puede realizar un aproximado. Para tener en cuenta esta operación en la programación de la herramienta digital se dedujeron las ecuaciones a partir de las tablas donde da como resultado da una función para cada tipo de tubería. En la tabla 16 se muestran los tipos de tubería y las funciones asignadas.

2.3.3.8 Tensionando en pega de tubería. De igual manera que la operación anterior, no existe un cálculo directo para determinar el desgaste en tonelada milla para la operación de tensionar durante una pega de tubería, sin embargo, de la misma forma, la IADC²⁴ desarrolló unas aproximaciones donde dependiendo el diámetro de la tubería y la profundidad de la pega se puede aproximar este valor de desgaste (Anexo C). De la misma manera que la operación se dedujeron las ecuaciones a partir de las tablas donde da como resultado da una función para

²³ INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 7 p 4-5

²⁴ Ibíd pp. 4

cada tipo de tubería. En la tabla 16 se muestran los tipos de tubería y las funciones asignadas para esta operación.

Tabla 16. Funciones para el cálculo de tonelada-milla en operaciones especiales.

Diámetro Nominal de la tubería	Peso por pie (lb/ft)	Martilleo		Pega de tubería
		Bumper jar	Oil jar	Función deducida para tensión durante pegas de tubería
2-3/8"	6,65	$y = 3E-09x^2 - 3E-05x + 0,1217$	$y = 3E-09x^2 + 3E-05x + 0,0002$	$y = 3E-09x^2 + 2E-05x + 0,0245$
2-7/8"	10,4	$y = 5E-09x^2 - 5E-05x + 0,1751$	$y = 3E-09x^2 + 2E-05x + 0,001$	$y = 3E-09x^2 + 4E-06x + 0,0417$
3-1/2"	13,3	$y = 6E-09x^2 - 6E-05x + 0,2167$	$y = 3E-09x^2 + 2E-05x + 0,0055$	$y = 4E-09x^2 - 4E-06x + 0,0513$
3-1/2"	15,5	$y = 7E-09x^2 - 7E-05x + 0,2438$	$y = 3E-09x^2 + 1E-05x - 0,0002$	$y = 4E-09x^2 - 9E-06x + 0,0585$
4"	14	$y = 6E-09x^2 - 7E-05x + 0,2288$	$y = 3E-09x^2 + 1E-05x + 0,0002$	$y = 4E-09x^2 - 6E-06x + 0,0549$
4-1/2"	16,6	$y = 7E-09x^2 - 8E-05x + 0,2689$	$y = 3E-09x^2 + 1E-05x - 6E-05$	$y = 4E-09x^2 - 1E-05x + 0,0679$
4-1/2"	20	$y = 9E-09x^2 - 9E-05x + 0,3098$	$y = 3E-09x^2 + 1E-05x - 0,0008$	$y = 4E-09x^2 - 2E-05x + 0,0784$
5"	19,5	$y = 9E-09x^2 - 9E-05x + 0,307$	$y = 3E-09x^2 + 9E-06x + 0,0089$	$y = 4E-09x^2 - 2E-05x + 0,0766$
5-1/2"	21,9	$y = 1E-08x^2 - 0,0001x + 0,347$	$y = 3E-09x^2 + 1E-05x + 0,0008$	$y = 5E-09x^2 - 2E-05x + 0,0875$
5-1/2"	24,7	$y = 1E-08x^2 - 0,0001x + 0,3841$	$y = 3E-09x^2 + 9E-06x - 7E-05$	$y = 5E-09x^2 - 3E-05x + 0,0999$
6-5/8"	25,2	$y = 1E-08x^2 - 0,0001x + 0,4047$	$y = 3E-09x^2 + 8E-06x + 0,0014$	$y = 5E-09x^2 - 3E-05x + 0,1043$

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 69-70 WR-A2. ISBN: 978-0-9915095-7-7

2.3.4 Programa de corrida y corte. El valor óptimo de tonelada-milla para correr y cortar está estrechamente relacionado con el estado del sistema de levante, sin embargo, la IADC²⁵ propone un "objetivo" de tonelada-milla por pie cortado. Este valor depende del diámetro del tambor del malacate y el diámetro nominal del cable, además se debe tener en cuenta las características del cable para definir el valor de este. Los objetivos de tonelada-milla por pie cortado para todos los casos se agrupan en la tabla 17.

²⁵ Ibíd, section 4 pp. 9

Tabla 17. Objetivo de corte

FOR RIGS HAVING NO PAST PERFORMANCE RECORDS						
Drum Diameter	Rope Diameter					
	1"	1-1/8"	1-1/4"	1-3/8"	1-1/2"	1-5/8"
18"	6.0	9.0				
19"	6.0	9.0				
20"	7.0	9.0				
21"	7.0	10.0				
22"	7.0	10.0				
23"	8.0	10.0	13.0			
24"	8.0	11.0	13.0	17.0		
25"	8.0	11.0	14.0	17.0		
26"	9.0	11.0	14.0	17.0		
27"	9.0	12.0	15.0	18.0		
28"		12.0	15.0	18.0		
29"		12.0	15.0	18.0		
30"		13.0	16.0	19.0		
31"			16.0	19.0		
32"			17.0	20.0		
33"			17.0	20.0		
34"			18.0	21.0	24.0	
35"				21.0	25.0	
36"				22.0	25.0	28.0

Nominal Breaking strength of 6 x 19 I.W.R.C (Independent Wire Rope Core) Blockline (lbs)			
Nominal Diameter	Ton-miles between cuts	Improved Plowed Steel	Extra Improved Plowed Steel
1"	8	89,800	103,400
1 1/8"	12	113,000	130,000
1 1/4"	16	138,800	159,800
1 3/8"	20	167,000	192,000
1 1/2"	24	197,800	228,000

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 4 pp.9

A partir de la tabla 17, la herramienta digital muestra la cantidad de cable que se debe correr y cortar según la tonelada-milla acumulada y las características del cable. Para líneas de 7/8" se usa un objetivo de corte de 6²⁶. Se comprobaron los objetivos de corte en los equipos E-722 y E-1225 donde las pruebas de laboratorio demostraran la efectividad de la herramienta digital.

2.3.5 Cantidad de cable de enhebrado. La cantidad mínima de cable que necesita un equipo se calcula a partir de la ecuación 9, donde, para cuantificar este valor se suman las siguientes distancias:

- Cantidad de cable mínimo en el malacate: debe ser mínimo 10 vueltas de cable en el tambor del malacate para prevenir deslizamientos²⁷.
- Distancia de la línea rápida: En forma general depende de la distancia del malacate al centro del pozo, para términos prácticos, los equipos que poseen una potencia menor a 1000 HP, es igual a un 105% de la altura de la torre, y para equipos con una potencia mayor de 1000 HP es igual a un 102% de la altura de la torre.
- Distancia de las líneas entre el bloque corona y el bloque viajero: Es la multiplicación de la cantidad de líneas que existen entre los dos bloques por la distancia de cada una de estas líneas.

²⁶ IPH GLOBAL. Cables de acero para la industria petrolera, Sep. 2011. Argentina: IPH, 2011 p. 6

²⁷ IADC. Op.cit, section 2 pp. 1

- Distancia de la línea muerta: Para términos prácticos es igual al 105% de la altura de la torre.

Ecuación 9. Cantidad de cable mínima para enhebrado.

$$CH = (CMM + DLR + (h - DEB) * L_s + DLM) * 1,1$$

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

La herramienta digital calcula la cantidad de cable que remanente en el carrete restando los cortes que se realizan a lo largo del tiempo y la cantidad de cable mínimo de enhebrado en cada equipo. Finalmente, el programa genera una alerta cuando quede poco cable en el carrete para solicitar un carrete nuevo.

2.3.6 Implementación de la herramienta digital. La herramienta digital fue probada de forma directa a dos equipos operativos de la compañía: (E-722 y E-1225) y de forma indirecta al equipo E-1724, simulando una operación normal de perforación y comparándola con los resultados del software preexistente.

2.4 INSPECCIÓN DEL CABLE

Para la validación de la herramienta digital, se realizaron inspecciones visuales, dimensionales y pruebas de tensión donde se evaluó la integridad del cable al ser retirado de los equipos E-1225 y E-722, posteriormente se compararon las pruebas entre el software preexistente y la herramienta digital “Estrella Ton-mile”.

2.4.1 Inspección visual. El máximo desgaste permitido para su operación son 6 alambres rotos distribuidos en los torones a lo largo de un paso o 3 alambres rotos en un mismo torón a lo largo de un paso.²⁸

2.4.2 Inspección dimensional. La reducción máxima del diámetro inicial del cable es del 7,5%, si durante la inspección este valor es menor, el cable debe ser remplazado inmediatamente²⁹.

2.4.3 Ensayo de tracción. La prueba consiste en someter el cable hasta la tensión de rotura para determinar el límite operativo del mismo. Esta prueba se efectuó a los equipos E-1225 y E-722 a través de la compañía Emcocables. Se

²⁸ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended Practice for Occupational Safety for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations, 3 edition. USA: API RP 54, 2007 p. 18

²⁹ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Crane-Wire ropes-Care and maintenance, inspection and discard, 5 edition. USA: ISO 4309:2017 p. 20

realizó una comparación entre el software preexistente y la herramienta “Estrella Ton-mile” para determinar cuál conserva mejor las características del cable.

2.5 GUÍA METODOLOGICA DE BUENAS PRÁCTICAS

La guía metodológica de buenas prácticas se encuentra en su totalidad en el anexo I. Para su realización se tomaron como referencia las normas API SPEC 9A, API RP 9B, IADC y Recomendaciones de fabricante. La guía se encuentra dividida en 5 capítulos los cuales son:

- **Compra:** se tiene en cuenta las respectivas inspecciones iniciales del cable al igual que la revisión de las características dadas por el fabricante en las fichas emitidas por el mismo.
- **Almacenamiento:** se contempla los parámetros exigidos para el apropiado almacenaje como lo son el evitar ambientes que pueda afectar la estructura del cable entre otros.
- **Uso:** se establecen los procedimientos para la utilización del cable como lo son el enhebrado, la corrida, el corte, el anclaje, el desenrolle, el enrollado en el malacate, y las especificaciones de uso en los equipos que generen un desgaste o una pérdida de las capacidades del cable.
- **Inspección:** se clasifican por los tipos de inspección a realizar que corresponden a la inspección visual, la inspección dimensional y las pruebas de tensión realizadas al cable.
- **Mantenimiento:** se estipulan las operaciones de mantenimiento que permitan una correcta operación del cable para el aprovechamiento de sus capacidades.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de las inspecciones a el sistema de izaje de los equipos E-707, E-722, E1225 y E-1724; los cuales, avalan el uso del método de tonelada-milla para cuantificar el desgaste del cable de perforación además, se muestra el comportamiento de la herramienta “Estrella Ton-mile” probada de manera indirecta al equipo E-1724 y de forma directa a los equipos E-722 y E-1225 donde a partir de inspecciones visuales, dimensionales y ensayos de tracción se determinó la efectividad de la herramienta digital.

3.1 INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE IZAJE

Teniendo en cuenta la normatividad de inspección del sistema de izaje expuesta en el capítulo anterior se evalúan las condiciones operativas de todo el sistema de izaje y su incidencia en el desgaste del cable de perforación.

3.1.1 Poleas. Los resultados de las inspecciones realizadas a las poleas de los equipos E-707, E-722, E-1225 y E-1724 se exponen en la tabla 18. los reportes de inspección completos para poleas de los bloques viajeros y la corona se encuentran en el anexo D.

Tabla 18. Diámetro de las gargantas de las poleas según inspección.

	E-707			E-722		
	Bloque viajero (In)	Bloque corona (In)	Altura Max (In)	Bloque viajero (In)	Bloque corona (In)	Altura Max (In)
Polea 1	1,732	1,775	1,96875	1,694	1,718	1,96875
Polea 2	1,733	1,645	1,96875	1,625	1,657	1,96875
Polea 3	1,733	1,850	1,96875	1,5	1,688	1,96875
Polea 4	1,733	1,551	1,96875	1,667	1,724	1,96875
Polea 5		1,637	1,96875	1,656	1,843	1,96875
Polea 6					1,813	1,96875
	E-1225			E-1724		
	Bloque viajero (In)	Bloque corona (In)	Altura Max (In)	Bloque viajero (In)	Bloque corona (In)	Altura Max (In)
Polea 1	1,816	1,862	2,1875	2,012	2,014	2,40625
Polea 2	1,842	1,716	2,1875	2,211	2,084	2,40625
Polea 3	1,966	1,913	2,1875	2,145	2,017	2,40625
Polea 4	2	1,783	2,1875	2,019	2,014	2,40625
Polea 5	1,913	2,062	2,1875	2,03	2,166	2,40625
Polea 6		1,791	2,1875	2,168	2,027	2,40625
Polea 7					2,278	2,40625

Fuente: elaboración propia basado en ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

Teniendo en cuenta el diámetro nominal de los cables usados en cada equipo, se calcula la altura máxima que puede tener la garganta de cada polea, multiplicando el diámetro nominal del cable por 1,75 (Tabla 6). Los resultados muestran que todas las mediciones realizadas a las poleas tanto del bloque viajero como de la corona se encuentran dentro de la tolerancia de la norma API³⁰, además, todas las inspecciones dan como condición final “operativo” debido a que bajo la inspección del patrón (galga) no hubo ningún paso de luz. Lo anterior demuestra que la interacción del cable con las poleas genera un desgaste mínimo y poco significativo para el cable.

3.1.2 Tambor del malacate y ancla de la línea muerta. Las inspecciones completas del tambor del malacate y el ancla de la línea muerta para cada equipo se encuentran en el anexo E. Por términos de confidencialidad las inspecciones no muestran las dimensiones de los canales de los tambores, sin embargo, dan como condición final “operativo” lo que demuestran que cumplen la norma de desgaste

³⁰ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Aplicación, cuidado y uso de cables para servicio petrolero, 13 edición. USA: API 9b, 2011 pp. 21

Lebus International Incorporation³¹. Gracias a lo anterior se puede concluir que el desgaste del cable esta dado por la operación del equipo y no por la interacción con el sistema de izaje.

3.2 EMULACIÓN CON LA HERRAMIENTA DIGITAL

Los resultados de la Emulación en comparación con la herramienta preexistente se encuentran referenciados en la tabla 19, el informe generado por la herramienta “Estrella Ton-mile” se encuentra en el anexo F.

³¹ LEBUS INTERNATIONAL INCORPORATION, Groove inspection. USA: Texas 2011 DWG: P3287-501A, CI: 17798

Tabla 19. Resultados emulados del equipo E-1724 para el pozo FUA 1 con el software preexistente y la herramienta “Estrella Ton-mile”.

Fecha	Operación.	Software preexistente . (Ton- milla)	Estrella Ton-mile. (Ton- milla)
9-feb-20	Perforación sección 1 con BHA 1 de 41 ft a 465 ft.	19,48	7,44
	Viaje de BHA 1 de 465 ft a 0 ft.	7,1	7,1
10-feb-20	Corrida de casing 1, 13 3/8" de 0 ft a 463 ft.	5,67	3,73
11-feb-20	Viaje BHA 2 desde 0 ft a 434 ft.	-7,89	7,89
	Perforación sección 2 de 434 ft a 1350 ft.	54,65	23,21
12-feb-20	Perforación sección 2 de 1350 ft a 4013 ft.	198,65	96,24
13-feb-20	Perforación sección 2 de 4013 ft a 4851 ft.	73,69	32,96
	Viaje de BHA 2 de 4851 ft a 1257 ft.	92,77	92,78
14-feb-20	Viaje de BHA 2 1257 ft a 0 ft.	24,7	24,71
15-feb-20	Corrida de Casing de 0 a 4850 ft 9 5/8".	114,17	120,77
16-feb-20	Viaje BHA 3 de 0ft a 138 ft.	-2,45	2,45
17-feb-20	Viaje BHA 3 de 138 ft a 4851 ft.	-112,52	112,53
18-feb-20	Perforación sección 3 de 4851 a 5857 ft.	93,82	42,56
	Viaje BHA 3 de 5857 ft a 5069 ft.	24,71	24,71
	Viaje BHA 3 de 5069 ft a 5857 ft.	-24,71	24,71
	Viaje BHA 3 de 5857 ft a 0 ft.	146,24	146,27
24-feb-20	Corrida tubing 3 1/2" de 0 a 3523 ft.	49,91	37,72
TOTAL		757,99	807,78
TOTAL VALOR ABSOLUTO		1053,13	807,78

Fuente: elaboración propia basado en ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

Los resultados de tonelada-milla para operaciones de perforación son diferentes debido a que el software preexistente utiliza una única ecuación, la cual, hace el cálculo asumiendo que se perfora con Kelly, mientras que la herramienta Estrella

Ton-mile calcula la tonelada-milla en perforación realizando una discriminación entre el mecanismo de perforación usado (top drive o Kelly), el sistema que se usa actualmente en la mayoría de las perforaciones es el sistema top drive. El sistema top drive reduce la cantidad de movimientos realizados por el bloque viajero disminuyendo en promedio un **56,16%** la tonelada-milla acumulada por esta operación.

Para viaje corto de tubería, las dos herramientas usan la misma ecuación, sin embargo, el software preexistente solo da como resultado valores positivos cuando la sarta se desplaza desde una profundidad mayor a una profundidad menor, lo anterior hace que se genere un valor negativo cuando se tiene una operación inversa lo cual no es coherente para el desgaste operativo de un cable de perforación. La herramienta digital genera valores positivos independiente de las profundidades a las que se haya realizado el viaje corto.

Las operaciones de corrida de casing y corrida de tubing se basan bajo la misma ecuación, sin embargo, no es posible determinar qué tipo de ecuación usa el software preexistente debido a que este valor no representa ninguna de las ecuaciones propuestas en las normas API 9B³² y el Drilling Manual propuesto por la IADC³³, por lo cual se concluye que es un error del software preexistente.

Se demuestra que con la herramienta Estrella Ton-mile se optimiza el cálculo de Tonelada Milla y la vida útil del cable de perforación, al ajustar los resultados a las normas establecidas y reconocidas internacionalmente, empleadas como soporte de este desarrollo.

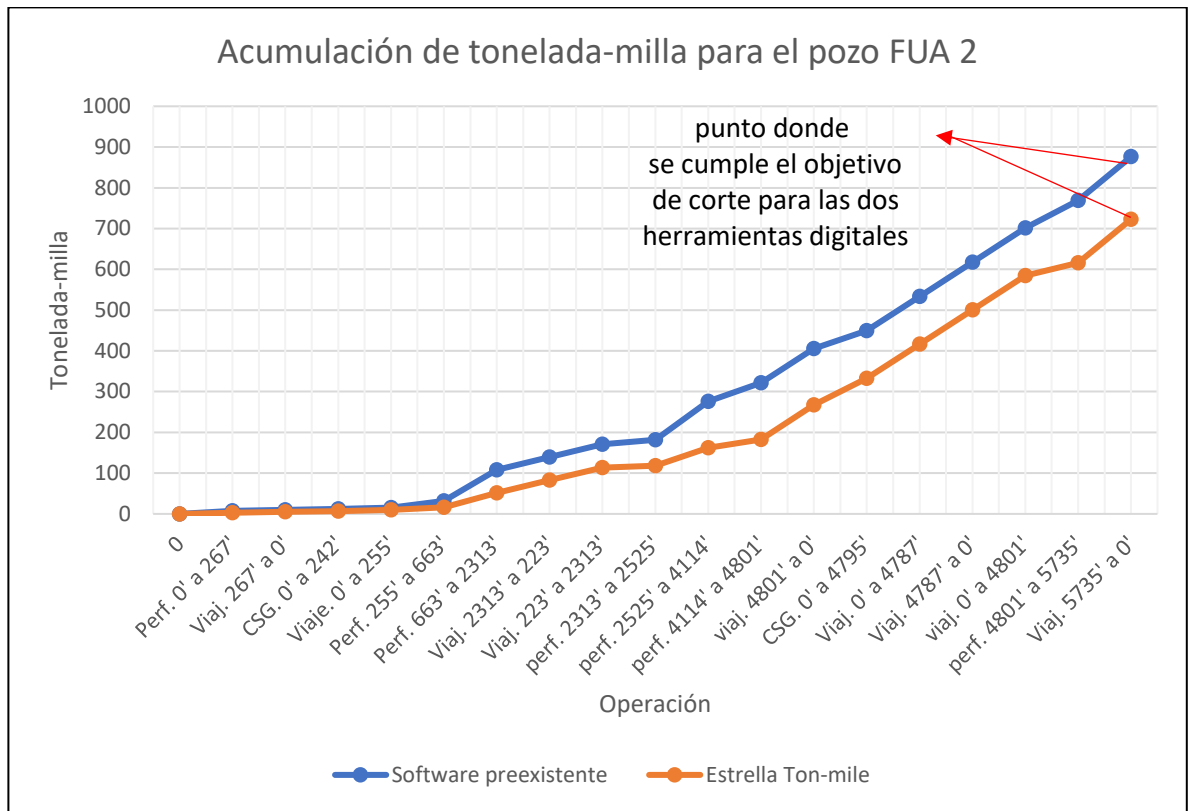
3.3 VALIDACIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se presentan los resultados y análisis del proyecto, En la gráfica 3 y 4 se presentan la acumulación de Tonelada-milla para los pozos FUA 2 y FUA 3 realizados por los equipos E-722 y E-1225 respectivamente. En las tablas 13 y 14 se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio realizados a los cables de los equipos E-722 y E-1225 respectivamente.

³² API 9B, Op.cit, p. 25

³³ IADC, Op.cit, Chapter M, section 8, p. 2

Gráfica 3. Acumulación de Tonelada-milla para el pozo FUA 2 realizado por el equipo E-722.

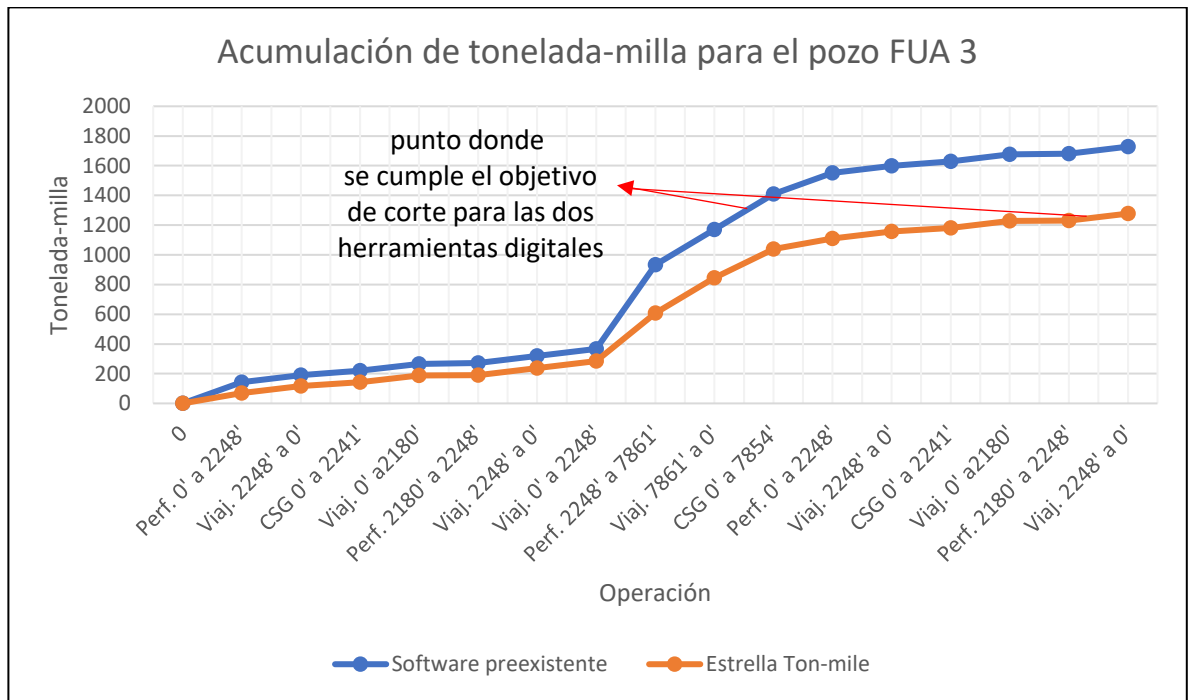


Fuente: elaboración propia basado en ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

El objetivo de corte para el equipo E-722 con el software preexistente es de 864 tonelada-milla y se corren y cortan 72 ft de cable, el objetivo con la herramienta Estrella Ton-mile es de 706 tonelada-milla y se corren y cortan 59 ft de cable.

Los valores de corrida y corte de cable, para los dos objetivos, se obtienen con las mismas operaciones; en ese orden de ideas, se infiere que se está cortando más longitud de cable que el requerido, por cuanto el trabajo de este es el mismo pero la acumulación de Tonelada Milla es más alta con el Software preexistente en alrededor de **18.05%** (13 ft).

Gráfica 4. Acumulación de Tonelada-milla para el pozo FUA 3 realizado por el equipo E-1225.



Fuente: elaboración propia basado en ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

El objetivo de corte para el equipo E-1225 con el software preexistente es de 1280 tonelada-milla y se corren y cortan 80 ft de cable; el objetivo con la herramienta Estrella Ton-mile es de 1257 tonelada-milla y se corren y cortan 79 ft de cable, valores muy parecidos entre sí. De igual manera que en el pozo FUA 1, el software preexistente sobrestima la tonelada-milla en operaciones de perforación mientras que en la herramienta Estrella Ton-mile corrige la ecuación y usa la que relaciona la operación con top drive, generando una equivalencia de 1703,84 tonelada-milla con el software preexistente es igual a 1257 tonelada-milla con la herramienta Estrella Ton-mile, lo anterior refiere una optimización en el uso del cable en 423,84 tonelada-milla con el software preexistente lo cual genera una optimización en el uso del cable en un 33,11% más de uso, corriendo y cortando la misma cantidad de cable.

3.3.1 Inspección Visual y dimensional. La inspección visual y dimensional fue realizada por la compañía Emcocables, los resultados se encuentran compilados

en la tabla 20 y el informe completo se encuentra en el anexo G. No se presentaron cables rotos ni afectación a los torones.

Tabla 20. Diámetro de los cables sometidos a pruebas.

Cable	E-722 1-1/8" 6x19 IWRC EIPS		E-1225 1-1/4" 6x19 IWRC EIPS	
Diámetro inicial	1,175"		1,290"	
Prueba	Diámetro del cable con el software preexistente (In).	Diámetro del cable con Estrella Ton-mile (In).	Diámetro del cable con el software preexistente (In).	Diámetro del cable con Estrella Ton-mile (In).
Lecturas	1,083	1,110	1,257	1,240
	1,102	1,088	1,240	1,231
	1,069	1,068	1,264	1,228
	1,068	1,102	1,248	1,233
Diámetro mínimo medido	1,068	1,068	1,240	1,228
Diámetro mínimo permitido	1,087	1,087	1,193	1,193
% de reducción máxima.	9,106	9,106	3,876	4,806

Fuente: elaboración propia basado en EMCOCABLES 2020.

La reducción del diámetro de un cable de acero está estrechamente relacionada con el desgaste operacional y la acumulación de esfuerzos en este. El diámetro varía a lo largo del cable, en los puntos de mayor fatiga donde se presenta un porcentaje de reducción de diámetro mayor y en estos puntos puede ocurrir una ruptura. En la tabla se muestran los valores que no cumplen con la norma en color rojo, los que si cumplen en color verde y el diámetro mínimo permitido para cada cable en color azul.

Para el equipo E-722, los ensayos muestran en ambos casos un diámetro mínimo de 1,068" generando una reducción de diámetro máxima del 9,106%, este valor supera la reducción máxima permitida en un 1,606% la cual es 7,5% del diámetro inicial, lo anterior se debe a que los cables fueron sometidos a mayores esfuerzos como consecuencia de las altas velocidades que producen una alta inercia al momento de frenar, lo anterior agrega esfuerzos no contemplados en la variable tonelada-milla.

Para el equipo E-1225, los ensayos muestran un diámetro mínimo leído de 1,240" y 1,228" para la prueba con el software preexistente y la herramienta digital Estrella Ton-mile respectivamente, lo anterior genera una reducción máxima de 3,88% y

4,81% respectivamente, valores que se encuentran dentro de la reducción máxima permitida la cual es un 7,5% del diámetro inicial.

La herramienta Estrella Ton-mile, en este equipo alarga la vida útil del cable dejando este en un estado permisible en términos dimensionales.

El desgaste total del equipo está dado por la acumulación de esfuerzos dados por la operación (desgaste operativo).

3.3.2 Ensayo de tracción. El ensayo de tracción fue realizado por la compañía Emcocables, los resultados se encuentran compilados en la tabla 21 y el informe completo se encuentra en el anexo H.

Tabla 21. Resultados ensayos de tracción.

Cable	E-722 1-1/8" 6x19 IWRC EIPS				E-1225 1-1/4" 6x19 IWRC EIPS			
Tensión de ruptura inicial	132511,10 lbf				160933,04 lbf			
Prueba	Carga de rotura de cable con el software preexistente.		Carga de rotura del cable con Estrella Ton-mile.		Carga de rotura de cable con el software preexistente.		Carga de rotura del cable con Estrella Ton-mile.	
Lecturas	56750 Kgf	124859 lbf	58000 Kgf	127600 lbf	63250 Kgf	139150 lbf	76000 Kgf	167200 lbf
% de reducción de resistencia del cable	5,775		3,706		13,535		-3,894	

Fuente: elaboración propia basado en EMCOCABLES 2020.

Para el equipo E-722, la prueba de la muestra de corrida y corte de cable con el programa ESTRELLA Ton-mile presenta una reducción menor a la resistencia de rotura con respecto al software preexistente, lo anterior demuestra que la herramienta digital calcula de una forma más óptima la distancia de corte disminuyendo el riesgo de una ruptura.

Para el equipo E-1225, el cable con el software preexistente presenta una alta reducción a la tensión de ruptura, lo cual se puede deber a las altas temperaturas a las que pudo haber sido sometido el cable, la prueba de la muestra de corrida y corte de cable con el programa Estrella Ton-mile representa un resultado poco confiable e inválido debido a que no existe la posibilidad de que un cable mejore su

resistencia a la ruptura después de haber sido usado, la prueba presenta un error de lectura y se invalida este resultado.

3.4 MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DEL CABLE DE PERFORACIÓN

El manual tiene como objetivo minimizar el desgaste operativo del cable de perforación y asegurar la calidad durante su vida útil; el manual está dividido en 6 capítulos principales (Tabla 22); el manual reúne todas las recomendaciones dadas por; International Association Drilling Contractors (IADC), American Petroleum Institute (API) y las recomendaciones del fabricante para la manipulación del cable de perforación durante su vida útil en la compañía ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES. La totalidad del manual se encuentra en el Anexo I

3.4.1 Reglamentación general. Se presentan las condiciones iniciales de HSEQ que se deben tener en cuenta al momento de manipular el cable y se indican los tipos de certificaciones que deben tener los equipos del sistema de izaje.

3.4.2 Compra. Se presenta la forma correcta de seleccionar un cable de perforación según las necesidades del equipo, como generar una orden de compra según la normatividad API SPEC 9A y el cómo realizar un aseguramiento a la calidad de recibo del producto revisando la documentación mínima que debe entregar el fabricante.

3.4.3 Almacenamiento. Se exponen las condiciones y tratamientos que se deben tener en cuenta antes y durante el almacenamiento del cable con el fin de mantener al máximo sus propiedades físicoquímicas.

3.4.4 Uso. En el capítulo de uso se exponen los métodos correctos de instalación y operación del cable, adicionalmente se presenta el programa de corrida y corte que se debe usar en la compañía y se encuentra programado en la herramienta digital Estrella ton-mile.

3.4.5 Inspección. Se muestran los dos tipos de inspecciones que se pueden realizar en campo, así como cada uno de sus criterios de rechazo.

3.4.6 Mantenimiento. Se recomienda un tipo de lubricante que se debe aplicar antes de entrar al periodo de almacenamiento y el criterio de rechazo al salir de este periodo.

Tabla 22. Contenido manual de buenas prácticas del cable de perforación.

CONTENIDO.	
1 REGLAMENTACIÓN GENERAL	103
1. COMPRA	104
2.1 SELECCIÓN DEL CABLE.	104
2.2 ORDEN DE COMPRA.	106
2.3 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE RECIBO DE PRODUCTO.	106
3 ALMACENAMIENTO	108
4 USO	109
4.1 INSTALACIÓN.	110
4.2 OPERACIÓN.	111
4.3 CORRIDA Y CORTE.	112
5 INSPECCION	113
5.1 VISUAL.	113
5.2 DIMENSIONAL.	113
6 MANTENIMIENTO.	115
BIBLIOGRAFIA	116

Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

- Con la aplicación de la herramienta digital se genera un ahorro del 23,3% de longitud de corte del cable de perforación en un pozo respecto al software preexistente, debido a la reducción de tonelada milla en operaciones de perforación con el sistema top drive.
- La frecuencia de corte en el equipo E-722 es similar, sin embargo, con la herramienta Estrella Ton-mile se cortan 13 ft de cable menos por ciclo lo cual refiere un ahorro de 18,05% de cable en este equipo.
- La frecuencia de corte para el equipo E-1225 aumenta en 423,84 Tonelada-milla calculadas con el software preexistente lo que genera una optimización en el uso del cable en un 33,11%.
- El porcentaje de pérdida de diámetro que tuvieron las dos herramientas digitales para el equipo E-722 estuvieron 1,6% por encima de la norma, lo anterior puede deberse a las sobretensiones producidas por la inercia que genera las paradas fuertes por el uso del freno en operaciones de viaje de tubería o perforación misma.
- La herramienta digital Estrella Ton-mile genera un ajuste en el cálculo de tonelada-milla en las operaciones de perforación respecto a la herramienta digital preexistente, debido a que la primera discrimina el sistema de perforación (top drive o Kelly), este valor de tonelada-milla es menor en un 56%.
- El desgaste mecánico es despreciable en los equipos objetivo de la compañía, debido a que en la totalidad de las inspecciones de las partes del sistema de izaje muestran que se cumplen con las normas establecidas por la API RP 9B y las recomendaciones de Lebus International Incorporation, lo anterior demuestra que el desgaste total del cable de perforación puede aproximarse al desgaste operativo.
- El software preexistente genera valores negativos en las operaciones de viaje corto cuando estos se realizan de una profundidad menor a una profundidad mayor, la herramienta digital Estrella Ton-mile genera valores positivos independientemente de las profundidades del viaje, acorde con los estándares y normas establecidos.

- Para la selección del objetivo de corte, prevalece las recomendaciones del fabricante sobre los objetivos iniciales dados por la IADC, debido, a que el primero tiene en cuenta las características y mejoras aplicadas al cable.
- El resultado del ensayo de tracción del equipo E-1225 con la herramienta Estrella Ton-mile da una tensión de ruptura mayor en un 3,89% respecto a la tensión de ruptura inicial (cable nuevo), lo anterior no es lógico debido a que la operación no puede mejorar la tensión de ruptura de un cable, por tal motivo se descarta esta prueba.
- Con la aplicación del manual de buenas prácticas del cable de perforación se estandariza todos los procesos relacionados con el cable de perforación en la compañía, completando así, el aseguramiento total del cable.
- La incertidumbre en el cálculo del desgaste total del cable calculado por la herramienta digital Estrella Ton-mile depende del desgaste mecánico que se le agregue al cable durante toda su vida útil.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo estudio para el cable del toro (izaje de torres) y sand line.
- Aplicar el manual de buenas prácticas propuesto en este proyecto a todos los equipos de la compañía y a partir de inspecciones visuales, dimensionales y ensayos de tracción a los cables determinar la mejora en la vida útil de los cables.
- Actualizar la selección del cable para todos los equipos de la compañía respecto al hook load actual y factores de diseño.
- Analizar el efecto que tiene el momento de inercia en el cable y desarrollar un software que calcule el desgaste por estas tensiones.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Aplicación, cuidado y uso de cables para servicio petrolero, 13 edición. USA: API 9b, 2011

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended Practice for Occupational Safety for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations, 3 edition. USA: API, 2007

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Slings, asme b30.9. EEUU 2014

ELATA, David Y ESHKENAZY, Rony. En: Science direct Vol. 41, issues 5-6 2, 2004

Francisco Beltrán. RESISTENCIA DE MATERIALES I. Universidad Politécnica de Madrid

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC.1486-6166. Bogotá D.C: El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 14. ISBN: 978-0-9915095-7-7

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Crane-Wire ropes-Care and maintenance, inspection and discard, 5 edition. USA: ISO 4309:2017.

LEBUS INTERNATIONAL INCORPORATION, Groove inspection. USA: Texas 2011 DWG: P3287-501A, CI: 17798

OSSA, Alex y PANIAGUA, Aurelio. Análisis de falla en cable de acero En: Ingeniería y ciencia ISSN 1794-9165. Septiembre de 2005 Vol. 1, nro 2

ANEXOS

ANEXO A.
TONELADA-MILLA PARA BUMPER JARS

TON-MILE CHARTS FOR SPECIAL APPLICATIONS

TABLE M7-1

TON-MILES FOR JARRING DOWN
(BUMPER JARS)

Chart is for One Pull *
(Pull is from zero load to pipe weight plus 5' stroke and back)

Clear Length (Feet)	Drill Pipe Size (in.) and Weight (lb./ft.)										
	2-3/8"	2-7/8"	3-1/2"	3-1/2"	4"	4-1/2"	4-1/2"	5"	5-1/2"	5-1/2"	6-5/8"
	6.650	10.400	13.300	15.500	14.000	16.600	20.000	19.500	21.900	24.700	25.200
1,000	0.032	0.033	0.034	0.035	0.035	0.036	0.037	0.037	0.038	0.039	0.039
2,000	0.037	0.040	0.042	0.044	0.043	0.045	0.048	0.048	0.050	0.053	0.053
3,000	0.043	0.049	0.053	0.056	0.054	0.058	0.063	0.062	0.066	0.070	0.071
4,000	0.052	0.061	0.067	0.071	0.069	0.075	0.081	0.081	0.086	0.092	0.094
5,000	0.064	0.076	0.085	0.091	0.087	0.096	0.105	0.104	0.112	0.121	0.124
6,000	0.078	0.095	0.107	0.116	0.111	0.123	0.136	0.134	0.146	0.157	0.162
7,000	0.096	0.118	0.135	0.147	0.140	0.156	0.173	0.172	0.187	0.203	0.210
8,000	0.117	0.147	0.169	0.184	0.175	0.197	0.219	0.218	0.238	0.259	0.268
9,000	0.143	0.181	0.210	0.229	0.218	0.247	0.275	0.273	0.300	0.326	0.339
10,000	0.172	0.221	0.258	0.283	0.268	0.305	0.341	0.339	0.373	0.407	0.424
11,000	0.206	0.267	0.315	0.345	0.327	0.374	0.419	0.416	0.459	0.502	0.523
12,000	0.245	0.321	0.380	0.417	0.395	0.454	0.509	0.505	0.560	0.612	0.639
13,000	0.289	0.382	0.455	0.501	0.473	0.545	0.612	0.609	0.675	0.739	0.773
14,000	0.339	0.452	0.540	0.595	0.561	0.649	0.731	0.726	0.807	0.885	0.926
15,000	0.395	0.530	0.635	0.702	0.662	0.767	0.864	0.859	0.956	1.050	1.100
16,000	0.458	0.618	0.743	0.822	0.774	0.900	1.020	1.010	1.120	1.240	1.290
17,000	0.526	0.715	0.863	0.956	0.898	1.050	1.180	1.180	1.310	1.440	1.510
18,000	0.602	0.823	0.995	1.100	1.040	1.210	1.370	1.360	1.520	1.670	1.760
19,000	0.685	0.941	1.140	1.270	1.190	1.390	1.580	1.570	1.750	1.930	2.030
20,000	0.776	1.070	1.300	1.450	1.360	1.590	1.800	1.790	2.010	2.210	2.320
21,000	0.875	1.210	1.480	1.640	1.540	1.810	2.050	2.040	2.290	2.520	2.650
22,000	0.982	1.370	1.670	1.860	1.750	2.050	2.330	2.310	2.590	2.860	3.010
23,000	1.100	1.540	1.880	2.090	1.960	2.310	2.620	2.610	2.920	3.230	3.390
24,000	1.220	1.720	2.100	2.350	2.200	2.590	2.940	2.920	3.280	3.630	3.810
25,000	1.360	1.910	2.350	2.620	2.450	2.890	3.290	3.270	3.670	4.060	4.270
26,000	1.500	2.120	2.610	2.910	2.730	3.220	3.660	3.640	4.090	4.520	4.760
27,000	1.660	2.350	2.890	3.230	3.020	3.570	4.060	4.040	4.540	5.020	5.290
28,000	1.820	2.590	3.190	3.570	3.340	3.940	4.500	4.470	5.030	5.560	5.850
29,000	2.000	2.840	3.510	3.930	3.680	4.340	4.960	4.930	5.540	6.130	6.460
30,000	2.180	3.120	3.850	4.310	4.040	4.770	5.450	5.410	6.100	6.750	7.110

* Example Number 1: If approximately 25 pulls are made on 12,000' of clear 5" (19.5 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 0.505 x 25 = 13 ton-miles.

Example Number 2: If approximately 100 pulls are made on 20,000' of clear 4-1/2" (16.6 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 1.59 x 100 = 159 ton-miles.

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 7 pp: 1.

ANEXO B.
TONELADA-MILLA PARA OIL JARS

TABLE M7-2

TON-MILES FOR JARRING UP (OIL JARS)

Chart is for One Pull *

(Pull is from 20,000 lbs. under pipe weight to 70,000 lbs. over pipe weight and back)

Drill Pipe Size (in.) and Weight (lb./ft.)

Clear Length (Feet)	Drill Pipe Size (in.) and Weight (lb./ft.)										
	2-3/8"	2-7/8"	3-1/2"	3-1/2"	4"	4-1/2"	4-1/2"	5"	5-1/2"	5-1/2"	6-5/8"
	6.650	10.400	13.300	15.500	14.000	16.600	20.000	19.500	21.900	24.700	25.200
1,000	0.034	0.023	0.019	0.016	0.018	0.016	0.013	0.014	0.013	0.012	0.012
2,000	0.074	0.052	0.044	0.039	0.043	0.039	0.033	0.034	0.033	0.030	0.031
3,000	0.121	0.088	0.076	0.068	0.074	0.068	0.059	0.061	0.059	0.055	0.056
4,000	0.174	0.130	0.144	0.103	0.111	0.104	0.092	0.095	0.091	0.086	0.089
5,000	0.233	0.179	0.158	0.145	0.155	0.146	0.131	0.135	0.131	0.124	0.128
6,000	0.298	0.234	0.209	0.192	0.205	0.195	0.176	0.181	0.176	0.168	0.173
7,000	0.370	0.295	0.267	0.247	0.262	0.251	0.228	0.234	0.229	0.219	0.226
8,000	0.448	0.363	0.331	0.307	0.325	0.313	0.286	0.293	0.288	0.277	0.285
9,000	0.533	0.437	0.401	0.374	0.395	0.382	0.350	0.359	0.353	0.341	0.351
10,000	0.623	0.518	0.478	0.447	0.471	0.457	0.421	0.431	0.425	0.411	0.424
11,000	0.721	0.604	0.561	0.526	0.554	0.539	0.498	0.510	0.504	0.488	0.504
12,000	0.824	0.698	0.650	0.612	0.642	0.628	0.581	0.595	0.589	0.571	0.590
13,000	0.934	0.797	0.746	0.704	0.738	0.723	0.671	0.686	0.681	0.661	0.683
14,000	1.050	0.903	0.848	0.802	0.840	0.825	0.767	0.784	0.780	0.758	0.783
15,000	1.170	1.020	0.957	0.906	0.948	0.933	0.870	0.889	0.885	0.861	0.889
16,000	1.300	1.130	1.070	1.020	1.060	1.050	0.978	1.000	0.996	0.970	1.000
17,000	1.440	1.260	1.190	1.130	1.180	1.170	1.090	1.120	1.110	1.090	1.120
18,000	1.580	1.390	1.320	1.260	1.310	1.300	1.220	1.240	1.240	1.210	1.250
19,000	1.720	1.530	1.460	1.390	1.450	1.430	1.340	1.370	1.370	1.340	1.380
20,000	1.880	1.670	1.600	1.520	1.590	1.570	1.480	1.510	1.510	1.470	1.520
21,000	2.040	1.820	1.740	1.670	1.730	1.720	1.620	1.650	1.650	1.620	1.670
22,000	2.210	1.980	1.900	1.810	1.890	1.880	1.770	1.800	1.800	1.760	1.820
23,000	2.380	2.140	2.060	1.970	2.050	2.040	1.920	1.960	1.960	1.920	1.980
24,000	2.560	2.310	2.230	2.130	2.210	2.200	2.080	2.120	2.120	2.080	2.150
25,000	2.740	2.490	2.400	2.300	2.390	2.380	2.240	2.290	2.300	2.250	2.330
26,000	2.940	2.670	2.580	2.470	2.560	2.560	2.420	2.470	2.470	2.420	2.510
27,000	3.130	2.860	2.760	2.650	2.750	2.750	2.600	2.650	2.660	2.600	2.690
28,000	3.340	3.060	2.960	2.840	2.940	2.940	2.780	2.840	2.850	2.790	2.890
29,000	3.550	3.260	3.150	3.030	3.140	3.140	2.970	3.030	3.040	2.990	3.090
30,000	3.770	3.470	3.360	3.230	3.350	3.350	3.170	3.320	3.250	3.190	3.300

* Example Number 1: If approximately 25 pulls are made on 12,000' of clear 5" (19.5 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 0.595 x 25 = 15 ton-miles.

Example Number 2: If approximately 100 pulls are made on 20,000' of clear 4-1/2" (16.6 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 1.57 x 100 = 157 ton-miles.

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 7 pp: 2.

ANEXO C.

TONELADA-MILLA PARA TENSIONES EN PEGAS DE TUBERÍA

TABLE M7-4

TON-MILES FOR PULLING ON STUCK PIPE

Chart is for One Pull *

(Pull is from 85% of pipe weight to 100,000 lbs. over pipe weight and back)

Clear Length (Feet)	Drill Pipe Size (in.) and Weight (lb./ft.)										
	2-3/8"	2-7/8"	3-1/2"	3-1/2"	4"	4-1/2"	4-1/2"	5"	5-1/2"	5-1/2"	6-5/8"
1,000	0.031	0.020	0.017	0.014	0.016	0.014	0.012	0.012	0.011	0.010	0.010
2,000	0.065	0.045	0.038	0.033	0.036	0.033	0.028	0.029	0.027	0.025	0.025
3,000	0.104	0.075	0.063	0.056	0.061	0.056	0.049	0.050	0.048	0.045	0.046
4,000	0.148	0.109	0.094	0.084	0.091	0.085	0.075	0.077	0.074	0.070	0.072
5,000	0.196	0.148	0.129	0.118	0.126	0.119	0.106	0.109	0.106	0.101	0.104
6,000	0.249	0.192	0.170	0.156	0.167	0.159	0.143	0.147	0.144	0.138	0.142
7,000	0.307	0.241	0.216	0.200	0.213	0.204	0.186	0.191	0.188	0.182	0.188
8,000	0.369	0.295	0.268	0.250	0.264	0.255	0.235	0.241	0.239	0.232	0.240
9,000	0.437	0.355	0.326	0.305	0.321	0.313	0.291	0.298	0.296	0.290	0.300
10,000	0.509	0.420	0.389	0.367	0.385	0.378	0.354	0.361	0.361	0.355	0.368
11,000	0.587	0.491	0.459	0.435	0.455	0.449	0.432	0.432	0.434	0.428	0.444
12,000	0.670	0.568	0.535	0.510	0.531	0.527	0.500	0.510	0.514	0.510	0.528
13,000	0.758	0.651	0.618	0.592	0.614	0.613	0.585	0.595	0.603	0.600	0.622
14,000	0.852	0.740	0.708	0.680	0.704	0.706	0.677	0.689	0.700	0.699	0.725
15,000	0.951	0.835	0.804	0.776	0.801	0.807	0.778	0.791	0.806	0.808	0.839
16,000	1.060	0.937	0.908	0.880	0.905	0.916	0.887	0.902	0.922	0.926	0.962
17,000	1.170	1.050	1.020	0.991	1.020	1.030	1.010	1.020	1.050	1.050	1.100
18,000	1.280	1.160	1.140	1.110	1.140	1.160	1.130	1.150	1.180	1.190	1.240
19,000	1.400	1.280	1.260	1.240	1.260	1.290	1.270	1.290	1.330	1.340	1.400
20,000	1.530	1.410	1.400	1.370	1.400	1.440	1.410	1.430	1.480	1.500	1.560
21,000	1.670	1.550	1.540	1.520	1.540	1.590	1.570	1.590	1.650	1.680	1.740
22,000	1.810	1.690	1.690	1.670	1.700	1.750	1.740	1.760	1.830	1.860	1.940
23,000	1.950	1.840	1.850	1.830	1.860	1.930	1.910	1.940	2.010	2.060	2.140
24,000	2.110	2.000	2.020	2.000	2.030	2.110	2.100	2.130	2.210	2.270	2.360
25,000	2.270	2.170	2.190	2.180	2.210	2.300	2.300	2.330	2.430	2.490	2.590
26,000	2.430	2.340	2.380	2.370	2.400	2.500	2.510	2.540	2.650	2.720	2.840
27,000	2.600	2.530	2.570	2.570	2.590	2.720	2.730	2.760	2.890	2.970	3.100
28,000	2.780	2.720	2.780	2.780	2.800	2.940	2.970	3.000	3.140	3.240	3.380
29,000	2.970	2.920	2.990	3.000	3.020	3.180	3.210	3.240	3.410	3.520	3.670
30,000	3.160	3.130	3.210	3.230	3.250	3.430	3.470	3.500	3.680	3.810	3.970

* Example Number 1: If approximately 25 pulls are made on 12,000' of clear 5" (19.5 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 0.510 x 25 = 13 ton-miles.

Example Number 2: If approximately 100 pulls are made on 20,000' of clear 4-1/2" (16.6 lb.) pipe, the ton-miles accumulated are: 1.44 x 100 = 144 ton-miles.

Fuente: INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 7 pp: 4.

ANEXO D. INSPECCIONES DE POLEAS



REPORTE DE INSPECCION Y DAÑOS
(INSPECTION & DAMAGE REPORT)

CODIGO FTDOM 076
VERSION 06
FECHA VERSION 01/10/2018
Página 1 de 1

BLOQUE VIAJERO

REPORTE No MT – EIES – E 707 - 046

CLIENTE	STRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR CERTIFICADOS	JOHN A. FLOREZ NDT 6379
LUGAR	CAMPO QUIFA 785H	FECHA	07 DE JUNIO / 2019
EQUIPO DE REFERENCIA	RIG 707	OIT No.	01858

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA REFERENCIA: API SPEC 8C / API RP 8B			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	X	IV

NUMERO DE SERIE:	05079034
TIPO:	---
MARCA / MODELO:	IDECO
TAMAÑO / CAPACIDAD:	350.000 LBS

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO



POLEA	CONDICION	Ø TOTAL	SERIAL	DIMENSION CANAL			
				Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	OPERATIVA	---	---	1 1/8"	1.455"	1.732"	1.875"
POLEA 2	OPERATIVA	---	---	1 1/8"	1.455"	1.733"	1.875"
POLEA 3	OPERATIVA	---	---	1 1/8"	1.455"	1.733"	1.875"
POLEA 4	OPERATIVA	---	---	1 1/8"	1.455"	1.733"	1.875"
POLEA 5	---	---	---	---	---	---	---
POLEA 6	---	---	---	---	---	---	---

PARTES	CONDICION	Ø HUECO	Ø PASADOR	Ø HOMBRO	Ø RADIO	LONG.
EJE CENTRAL	---	N/A	---	N/A	N/A	---
PASADOR INFERIOR IZQUIERDO	---	N/A	---	N/A	N/A	---
OJO INFERIOR IZQUIERDO	---	---	N/A	N/A	N/A	N/A
PASADOR INFERIOR DERECHO	---	N/A	---	N/A	N/A	---
OJO INFERIOR DERECHO	---	---	N/A	N/A	N/A	N/A
HOOK BAIL	OK	N/A	N/A	N/A	---	N/A
LINK EAR RH	---	N/A	N/A	---	N/A	N/A
LINK EAR LH	---	N/A	N/A	---	N/A	N/A
HOOK	---	N/A	N/A	N/A	---	N/A

OBSERVACIONES	BLOQUE INSPECCIONADO EN LA TORRE. SE TOMA DIMENSIONAL EN PUNTO ABIERTO A SUPERFICIE.
CONDICIÓN FINAL:	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTK 006	LAMPARA UV: MTLN 030	ULTRASONIDO: ---	RADIOMETRO: MTRD 003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002	PARTICULAS. MAGNETICAS	0.25 ml/100ml	INTENSIDAD LAMPARA:	126 µ Watts / cm ²

INSPECTOR
NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE No MT – EIES – 707 - 045

CLIENTE	ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR CERTIFICADOS	JOHN A. FLOREZ NDT 6379
LUGAR	CAMPO QUIFA 785H	FECHA	6 DE JUNIO / 2019
EQUIPO DE REFERENCIA	RIG 707	OIT No.	01858

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA DE REFERENCIA: API RP 8B / API RP 4G			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	X	IV

NUMERO DE SERIE:	05592039
TIPO:	
MARCA / MODELO:	IDECO

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
BLOQUE CORONA

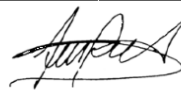


POLEA	CONDICION	Ø TOTAL	Ø EFECTIVO	DIMENSION CANAL			
				Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	OPERATIVO	42"	---	1 1/8"	1.455	1.775	1.875
POLEA 2	OPERATIVO	24"	----	9/16"	0.748	0.781	0.984
POLEA 3	OPERATIVO	36"	---	1 1/8"	1.455	1.645	1.875
POLEA 4	OPERATIVO	36"	---	1 1/8"	1.455	1.850	1.875
POLEA 5	OPERATIVO	36"	---	1 1/8"	1.455	1.551	1.875
POLEA 6	OPERATIVO	36"	---	1 1/8"	1.455	1.637	1.875
POLEA 7	OPERATIVO	36"	---	---	---	---	---

PARTES	CONDICION	Ø PASADOR	LONG.
EJE PRINCIPAL	---	---	---
EJE LATERAL 1	---	---	---
EJE LATERAL 2	---	---	---
EJE LATERAL 3	---	---	---
ESTRUCTURA SOPORTE POLEAS	---	N/A	N/A
ESTRUCTURA BASE CORONA	OK	N/A	N/A

OBSERVACIONES	SE TOMA DIMENSIONAL EN PUNTO ABIERTO A SUPERFICIE. SE INSPECCIONA CON GUAYA ENEBRADA EN POLEAS.
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVA.	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS			
CORONA:	AC YOKE: MTKY 006	LAMPARA UV: MTLN 030	ULTRASONIDO: ---
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002-003	PARTICULAS. MAGNETICAS: 0.25 ml/100ml	INTENSIDAD LAMPARA: 1303 µ Watts / cm²	RADIOMETRO: MTRD 003



INSPECTOR
NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

BLOQUE VIAJERO

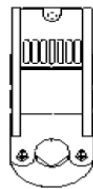
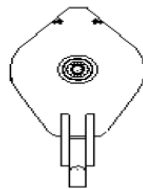
REPORTE No MT-EIES-E 722-004

CLIENTE	ESTRELLA	INSPECTOR CERTIFICADOS	ANDRES URREGO NDT-6017 / NDT-6021
LUGAR	HAMACA 37H	FECHA	6 DE DICIEMBRE 2019
EQUIPO DE REFERENCIA	E-722	OIT No.	01986

TIPO DE INSPECCION			
NORMA REFERENCIA: API RP 8B			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	X	IV

NUMERO DE SERIE:	05 079 030
TIPO:	-
MARCA / MODELO:	MACKISSICK
TAMAÑO / CAPACIDAD:	250 TON

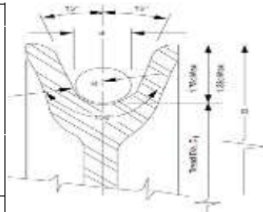
DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
BLOQUE VIAJERO



BLOQUE VIAJERO



POLEAS



POLEA	CONDICION	Ø TOTAL	SERIAL	DIMENSION CANAL			
				Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	ACEPTADO	---	---	1 1/8"	1.496"	1.694"	1.968"
POLEA 2	ACEPTADO	---	---	1 1/8"	1.496"	1.625"	1.968"
POLEA 3	ACEPTADO	---	---	1 1/8"	1.496"	1.500"	1.968"
POLEA 4	ACEPTADO	---	---	1 1/8"	1.496"	1.667"	1.968"
POLEA 5	ACEPTADO	---	---	1 1/8"	1.496"	1.656"	1.968"
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

PARTES	CONDICION	Ø HUECO	Ø PASADOR	Ø HOMBRO	Ø RADIO	LONG.
EJE CENTRAL	---	N/A	---	N/A	N/A	---
PASADOR INFERIOR IZQUIERDO	---	N/A	---	N/A	N/A	---
OJO INFERIOR IZQUIERDO	---	---	N/A	N/A	N/A	N/A
PASADOR INFERIOR DERECHO	---	N/A	---	N/A	N/A	---
OJO INFERIOR DERECHO	---	---	N/A	N/A	N/A	N/A
HOOK BAIL	---	N/A	N/A	N/A	-	N/A
LINK EAR RH	---	N/A	N/A	-	N/A	N/A
LINK EAR LH	---	N/A	N/A	-	N/A	N/A
HOOK	---	N/A	N/A	N/A	-	N/A

OBSERVACIONES	---
CONDICIÓN FINAL: ACEPTADO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK-016	LAMPARA UV: MTLN-035	ULTRASONIDO: ---	RADIOMETRO: MTRD-003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002-PRDOM 003	PARTICULAS. MAGNETICAS: 0.3 ml/100ml		INTENSIDAD LAMPARA: 3250 µ Watts / cm ²	

ANDRES URREGO
 INSPECTOR
 NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE No MT-EIES-E 722-017

CLIENTE	ESTRELLA	INSPECTOR CERTIFICADOS	ANDRES URREGO NDT-6017 / 6021
LUGAR	HAMACA 37H	FECHA	6 DE DICIEMBRE 2019
EQUIPO DE REFERENCIA	E-722	OIT No.	01986

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA DE REFERENCIA: API RP 8B / API RP 4G			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	X	IV

NUMERO DE SERIE:	05 592 028
TIPO:	TELESCOPICA
MARCA / MODELO:	COOPER

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
BLOQUE CORONA



BLOQUE CORONA

POLEA	CONDICION	Ø TOTAL	Ø EFECTIVO	DIMENSION CANAL			
				Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.718"	1.968"
POLEA 2	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.657"	1.968"
POLEA 3	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.688"	1.968"
POLEA 4	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.724"	1.968"
POLEA 5	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.843"	1.968"
POLEA 6	ACEPTADO	---	---	1.125"	1.496"	1.813"	1.968"
POLEA 7	---	---	---	---	---	---	---

PARTES	CONDICION	Ø PASADOR	LONG.
EJE PRINCIPAL	---	---	---
EJE LATERAL 1	---	---	---
EJE LATERAL 2	---	---	---
EJE LATERAL 3	---	---	---
ESTRUCTURA SOPORTE POLEAS	ACEPTADO	N/A	N/A
ESTRUCTURA BASE CORONA	ACEPTADO	N/A	N/A

OBSERVACIONES	---
CONDICIÓN FINAL: ACEPTADO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK-016	LAMPARA UV: MTLN-035	ULTRASONIDO: ---	RADIOMETRO: MTRD-003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002-PRDOM 003		PARTICULAS. MAGNETICAS: 0,3 ml/100ml	INTENSIDAD LAMPARA: 3250 µ Watts / cm²	


ANDRES URREGO
C.C. 1.036.930.636
INSPECTOR NIVEL II - NDT

ANDRES URREGO
INSPECTOR
NIVEL III/SNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

REPORTE No MT-EIES-E1225-002

CLIENTE	ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR: CERTIFICADOS:	LASCARIO LOPEZ MT 566 PT 613 NDT 5190 NDT 5365
LUGAR	CAÑO LIMON / BAYONERO 6	FECHA	15 JUNIO 2017
EQUIPO DE REFERENCIA	E-1225	OIT No.	MT-01510

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA REFERENCIA: API SPEC 8A / 8C			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	-	IV

NUMERO DE SERIE:	05 079 043
Ø CABLE:	1 1/4"
CAPACIDAD:	350 TON

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
BLOQUE VIAJERO



POLEA	CONDICION	Ø TOTAL	SERIAL	DIMENSION CANAL			
				Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	OK	42 in	04171	1,250 in	1,662 in	1,816 in	2,187 in
POLEA 2	OK	42 in	04172	1,250 in	1,662 in	1,842 in	2,187 in
POLEA 3	OK	42 in	11	1,250 in	1,662 in	1,966 in	2,187 in
POLEA 4	OK	42 in	12	1,250 in	1,662 in	2 in	2,187 in
POLEA 5	OK	42 in	15	1,250 in	1,662 in	1,913 in	2,187 in

PARTES	CONDICION	Ø HUECO	Ø PASADOR	Ø HOMBRO	Ø RADIO	LONG.
EJE CENTRAL	OK	N/A	10 in	N/A	N/A	23 1/8 in
PASADOR INFERIOR IZQUIERDO	OK	N/A	3 29/32 in	N/A	N/A	12 5/8 in
OJOS TAPA INFERIOR	OK	3 15/16"	N/A	N/A	N/A	N/A
PASADOR INFERIOR DERECHO	OK	N/A	3 29/32 in	N/A	N/A	12 5/8 in
OJO TAPA SUPERIOR	OK	3 15/16"	N/A	N/A	N/A	N/A
HOOK BAIL	OK	N/A	N/A	N/A	4 in	N/A

OBSERVACIONES	AL MOMENTO DE LA INSPECCION NO SE ENCONTRARON DAÑOS RELEVANTES.
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVA.	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK 011	LÁMPARA UV: MTLN 025	ULTRASONIDO: ---	RADIÓMETRO: MTRD 007
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002	PARTÍCULAS. MAGNÉTICAS: 0,3 ml/100ml		INTENSIDAD LÁMPARA : 1,710 µ Watts / cm²	

Lascario Lopez
LASCARIO LOPEZ
INSPECTOR
NIVEL IIIASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE ESTRELLA
INTERNACIONAL ENERGY
SERVICES



REPORTE DE INSPECCION Y DAÑOS
(INSPECTION & DAMAGE REPORT)
BLOQUE CORONA SIN 05 592 033

CODIGO FTDOM 075
VERSION 04
FECHA VERSION 23/08/15
Página 1 de 2

REPORTE No MT-EIES-E1225-001

CLIENTE	ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR: CERTIFICADOS:	LASCARIO LOPEZ MT 566 PT 613 NDT 5190 NDT 5365
LUGAR	CAÑO LIMON / BAYONERO 6	FECHA	15 JUNIO 2017
EQUIPO DE REFERENCIA	E-1225	OIT No.	MT-01510

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA DE REFERENCIA: API RP 8B / API SPEC 8A/ API RP 4G			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	X	IV

NUMERO DE SERIE: (APLICA TORRE)	05 592 033
MARCA:	IRI INTERNATIONAL

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
BLOQUE CORONA



POLEA	CONDICION	Ø		DIMENSION CANAL			
		TOTAL	EFFECTIVO	Ø GUAYA	NOMINAL	ACTUAL	MAXIMO
POLEA 1	OK	36"	32,276"	1,250"	1,662"	1,862"	2,187"
POLEA 2	OK	36"	32,568"	1,250"	1,662"	1,716"	2,187"
POLEA 3	OK	36"	32,174"	1,250"	1,662"	1,913"	2,187"
POLEA 4	OK	36"	32,434"	1,250"	1,662"	1,783"	2,187"
POLEA RAPIDA	OK	42"	37,870"	1,250"	1,662"	2,062"	2,187"
POLEA MUERTA	OK	36"	32,418"	1,250"	1,662"	1,791"	2,187"

PARTES	CONDICION	Ø PASADOR	LONG.
E.E PRINCIPAL	-	-	-
E.E LATERAL 1	-	-	-
E.E LATERAL 2	-	-	-
E.E LATERAL 3	-	-	-
ESTRUCTURA SOPORTE POLEAS	OK	N/A	N/A
ESTRUCTURA BASE CORONA	OK	N/A	N/A


OBSERVACIONES	AL MOMENTO DE LA INSPECCION NO SE ENCONTRARON DAÑOS RELEVANTES.
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVO.	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK 011	LÁMPARA UV: MTLN 025	ULTRASONIDO: ---	RADIÓMETRO: MTRD 007
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002	PARTÍCULAS. MAGNÉTICAS:	0,3 ml/100ml	INTENSIDAD LÁMPARA : 1,710 µ Watts / cm²	

Lascario Lopez
LASCARIO LOPEZ
INSPECTOR
NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

[Signature]
CLIENTE ESTRELLA
INTERNATIONAL ENERGY
SERVICES




Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020



REPORTE DE INSPECCIÓN - DRILLING BLOCK

NEC-Go-FI-010 Version: 2 09/06/2017	IDENTIFICACION DEL INSPECTOR: JUAN CARLOS CASTILLA NIVEL II ASNT VI-MT-UT-PT 00118 ORDEN INTERNA DE TRABAJO: NEC-954-19 No DE REPORTE: NEC-8450-II/19 PROCEDIMIENTO ASOCIADO: NEC-Go-Pr-002/ Insp. Visual/NEC-Go-Pr-004 Part. Magnéticas
COMPAÑIA: ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY UBICACION: CORALILLO 7 RIG/EQUIPO RIG- E 1724 FECHA DE INSPECCION: 15 DE JULIO 2019 SOLICITADO POR: ING. PAULA CORTÉS	IDENTIFICACION DEL INSPECTOR: JUAN CARLOS CASTILLA NIVEL II ASNT VI-MT-UT-PT 00118 ORDEN INTERNA DE TRABAJO: NEC-954-19 No DE REPORTE: NEC-8450-II/19 PROCEDIMIENTO ASOCIADO: NEC-Go-Pr-002/ Insp. Visual/NEC-Go-Pr-004 Part. Magnéticas

DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA

FABRICANTE: DRECO IDENTIFICACION: 0 5079039 CAPACIDAD: 500 TON	REGISTRO FOTOGRAFICO VISTA LATERAL/POLEAS:  IDENTIFICACION:  VISTA FRONTAL: 
--	--



INSPECCION DIMENSIONAL GANCHO		POLEAS DEL BLOQUE	
OD GANCHO	HOMBRO DERR	ROD COLGADOR	ROD CLEVIS
12 7/8"	N/A	7 3/8"	4"
		ALTIMETRO	
		ANGULO BLOQUE	
		64°	



SERIAL	DIAMETRO	CABLE	MIT	PESTANIA	PROF. CANAL	MAX DESGASTE	ID RODAMIENTO	CONDICION
1120-1	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.012"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO
1120-2	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.019"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO
1120-3	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.030"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO
1120-4	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.145"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO
1120-5	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.168"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO
1120-6	60"	1 3/8"	OK	3 1/2"	2.211"	2.406"	13 3/4"	OPERATIVO

*** AREA ESPECIFICA: ***

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO		CATEGORIA DE INSPECCION	
API SPEC 8C CAP 9.3/MANUAL DE FABRICACION	III API RP 8B 3.1.3	REPARABLE	FUERA DE SERVICIO

VERIFICACION DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS			
SUPERFICIE LAMPARA(UV)10115	YOKO AC (TK680)	BOBINA DC (0133)	CONC PARTICULAS
10 Lbs	N/A	N/A	0.3ml/100ml
SSPC SP-3	1170uv/cm ²	100FC	100FC
		<input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC	<input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC
LONGITUDINAL	2FC	DESAMAGNETIZAR	PINTURA PROTEC
		N/A	N/A
REGISTRO FOTOGRAFIA	VENECIMIENTO PATRONES	REGISTRO	FOTOGRAFIA

FIRMA INSPECTOR NDT NIVEL II: 	REVISADO POR: ING MANUEL RODRIGUEZ: 
---	--


FIRMA DE CLIENTE: 	FIRMA DE CLIENTE: 
---	--

Calle 12B No. 24A-79 Funza-Cundinamarca
 PBX: 9223592/MOVIL: 3108061053
 operaciones@novatechengineering.com.co

PAGINA 1 DE 2

www.novatechengineering.com.co

Fuente: ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES 2020



REPORTE DE INSPECCIÓN - BLOQUE CORONA

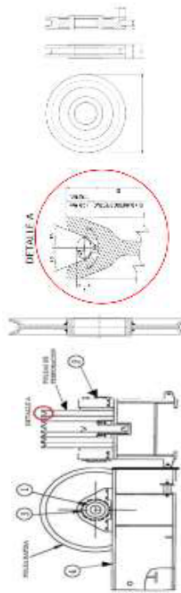
NEC-Go-Ft-075
Version: 2
09/06/2017

COMPañIA ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY
UBICACIÓN CORALILLO 7 RIG/EQUIPO RIG - E 1724
FECHA DE INSPECCION 15 DE JULIO 2019
SOLICITADO POR ING. PAULA CORTES


IDENTIFICACION DEL INSPECTOR JUAN CARLOS CASTILLA NIVEL II ASNT VT-MT-UT-PT-00118
ORDEN INTERNA DE TRABAJO NEC-954-19
NO DE REPORTE NEC-8484-II/19
PROCEDIMIENTO ASOCIADO NEC-Go-Pr-002/ Insp. Visual/NEC-Go-Pr-004 Part. Magnetless

IDENTIFICACION CAPACIDAD 502038 ***

TIPO DE HERRAMIENTA



REGISTRO FOTOGRAFICO



INSPECCION DIMENSIONAL

SERIAL	DIAMETRO	CABLE	ANGULO	PESTAÑA	PROF. CANAL	MAX DESGASTE	ID RODAMIENTO	CONDICION OPERATIVA
1	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.017"	2.406"	***	OPERATIVA
2	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.166"	2.406"	***	OPERATIVA
3	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.014"	2.406"	***	OPERATIVA
4	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.014"	2.406"	***	OPERATIVA
5	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.084"	2.406"	***	OPERATIVA
6	60"	1 3/8"	150°	3 1/2"	2.027"	2.406"	***	OPERATIVA
7	60"	1 3/8"	150°	2 7/8"	2.278"	2.406"	***	OPERATIVA

INSPECCION VISUAL Y NO DESTRUCTIVA

DESGASTE	CORROSION	FRACTURA	POROSIDAD	DEFLEXION	ESTIRADO
NO	NO	NO	NO	NO	NO

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO API SPEC 8C CAP 9.2 APPENDIX A/AWS D1.1 TABLA 6


CONDICION FINAL OPERATIVO REPARABLE FUERA DE SERVICIO

CATEGORIA DE INSPECCION III API RP 8B 3.1.3

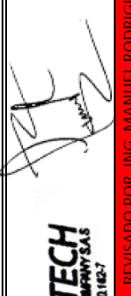
VERIFICACION DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

SUPERFICIE	LAMPARA(UV0115)	YOKE AC (YK0150)	BOBINA DC (B133)	CONG. PARTICULAS	LUZ VISIBLE	TIPO DE CORRIENTE	DIR. DEL CAMPO	LUZ DE TRABAJO	DESMAGNETIZAR	PINTURA PROTEC	REGISTRO FOTOGRAFIA	VENCIMIENTO PATRONES
SSPC SP-3	1912µw/cm²	10 Lbs	N/A	0.3mL/100mL	100Fc	<input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC	LONGITUDINAL	2Fc	N/A	N/A	FOTOGRAFIA	NEC-PM-001-0105/2019 NEC-PM-001-0105/2019 NEC-PM-001-0105/2019 NEC-PM-001-0105/2019


FIRMA INSPECTOR NDT NIVEL II



REVISADO POR ING. MANUEL RODRIGUEZ /QAQC




FIRMA DE CLIENTE



OPERACIONES@novatechengineering.com.co
WWW.NOVATECHENGINEERING.COM.CO
CONTRATO 954330-2019-000

FIRMA DE CLIENTE



PÁGINA 3 DE 3

Calle 12B No. 24 A-79 Funza - Cundinamarca
PBX: 9223592/MOVIL: 3108061053
operaciones@novatechengineering.com.co

www.novatechengineering.com.co

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

ANEXO E.

INSPECCIONES MALACATE Y ANCLA DE LA LÍNEA MUERTA



**REPORTE DE INSPECCION Y DAÑOS
(INSPECTION & DAMAGE REPORT)**
TRABAJOS VARIOS

CODIGO FTDOM 118
VERSION 04
FECHA VERSION 01/10/18
Página 1 de 3

REPORTE No MT-EIES-E 707-003

CLIENTE	ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR CERTIFICADOS	ANDRES URREGO NDT-6017 / NDT-6021
LUGAR	QUIFA 807	FECHA	13 DE NOVIEMBRE 2019
EQUIPO DE REFERENCIA	E-707	OIT No.	MT-01966

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA DE REFERENCIA: ASTM E-709			
VISUAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
DIMENSIONAL	-	LIQUIDOS PENETRANTES	-
ULTRASONIDO	-	ULTRASONIDO DEFECTOLOGIA	-
CATEGORIA	III	-	IV

NUMERO DE SERIE:	AL-554 / 05 274 035
TIPO:	36-CB-525
MARCA / MODELO:	IDECO / H-44-CD
TAMAÑO / CAPACIDAD:	850 HP

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
MALACATE



MALACATE

OBSERVACIONES	
CONDICIÓN FINAL: ACEPTADO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK-014	LAMPARA UV: MTLN-030	ULTRASONIDO: ---	RADIOMETRO: MTRD-003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002-PRDOM 003		PARTICULAS. MAGNETICAS: 0,3 ml/100ml		INTENSIDAD LAMPARA :1880 μ Watts / cm ²


ANDRES URREGO
CC: 1.036.930.060
 INSPECTOR
 NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE DE INSPECCIÓN DE ANCLA CABLE MUERTO

South American
Inspection Services
Colombia

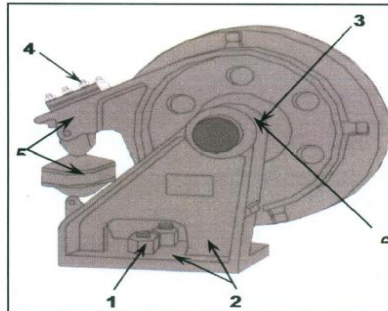
SAIS-OP-F-20R	Versión 3	Fecha Vigencia: 19-07-2018
Elaboro Dir. Técnico	Revisó Coord. Calidad	Aprobó Representante Legal

Página 1 de 1

CLIENTE	ESTRELLA INTERNATIONAL RIG E 707	REPORTE No.	SR-1419-19
LUGAR	QUIFA CLUSTER 218	OIT No.	SR-180
FECHA	22/03/2019	INSPECTOR	JOHN HAROLD LOZANO
ORDEN CLIENTE No.	VERBAL	PROCEDIMIENTO	SAIS-OP-P-16R

TIPO DE INSPECCION			
DIMENSIONAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
PARTICULAS MAGNETICAS	X	ULTRASONIDO	X
SE INSPECCIONO ARMADA	SI	CATEGORIA DE INSPECCION	4

MATERIAL INSPECCIONADO	ANCLA CABLE MUERTO	SERIE / ACTIVO FIJO	05-019-030
FABRICANTE	NATIONAL	TIPO	F
CAPACIDAD	40.000	TAMAÑO CABLE	1 1/8"



ELEMENTO	TIPO DE INSPECCION		CONDICION
	MT	PT	
1 TORNILLOS ANCLAJE	OK	-	OPERATIVO
2 BASE	OK	-	OPERATIVO
3 RANURAS DE CABLE	OK	-	OPERATIVO
4 GRAPAS	OK	-	OPERATIVO
5 PINES SENSOR	-	-	-
6 EJE	OK	-	-
7 CARCASA MOVIL	OK	-	OPERATIVO

OBSERVACIONES
NO PRESENTA NINGUNA INDICACION RELEVANTE
CONDICION FINAL OPERATIVO

CONDICIONES OPERATIVAS	ULTRASONIDO -	LAMPARA SAIS-UV-014	AC YOKE SAIS-AY-021
	PARTICULAS MAGNETICAS	0,3 ml/100ml	RADIOMETRO SAIS-RM-013
		INTENSIDAD LAMPARA	1.900 µ Watts / cm²

INSPECTOR	RECIBIDO CLIENTE	
CERTIFICADO NIVEL II	MT	6030
CONTROL DE CALIDAD	PT	ET

Este Documento es ORIGINAL. Se conserva en Medio Magnético, al imprimirse es una COPIA NO CONTROLADA

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE No MT – EIES –E-722 - 036

CLIENTE	ESTRELLA INTERNACIONAL	INSPECTOR CERTIFICADOS	JHONNY VALENCIA NDT-5575-6309
LUGAR	POZO HAMACA 37H (CAMPO RUBIALES)	FECHA	06/12/2018
EQUIPO DE REFERENCIA	E-722	OIT No.	01986

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA REFERENCIA: IADC, API RP 7L			
VISUAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	-
DIMENSIONAL	-	LIQUIDOS PENETRANTES	X
ULTRASONIDO	-	ULTRASONIDO DEFECTOLOGIA	-
CATEGORIA	III	X	IV


NUMERO DE SERIE:	22—N-002-1// 1882
TIPO:	LTO-750
MARCA / MODELO:	COOPER
TAMAÑO / CAPACIDAD:	750

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
MALACATE

1. BASE
2. TAMBOR
3. BANDAS
4. BALANCIN
5. BARRA DEL FRENO
6. TENSORES DE GRADUACION DEL FRENO
7. PATINES TOPES DE LAS BANDAS
8. PATECABRA

OBSERVACIONES	---
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK 016	LAMPARA UV: MTLN-035	ULTRASONIDO: ---	RADIOMETRO: MTRD-003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002-003	PARTICULAS. MAGNETICAS:	0.3 ml/100ml	INTENSIDAD LAMPARA:	3200 μ Watts / cm ²


 INSPECTOR
 NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE No. MT-EIES-E-722-023

CLIENTE	ESTRELLA INTERNACIONAL	INSPECTOR CERTIFICADOS	JHONNY VALENCIA NDT-5575-6309
LUGAR	POZO HAMACA 37H	FECHA	06/12/2019
RIG DE REFERENCIA	E-722	OIT No.	01986

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA DE REFERENCIA: API RP 8B / ASTM E 709			
VISUAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
DIMENSIONAL	-	PARTICULAS MAGNETICAS	X
CATEGORIA	III	IV	X

NUMERO DE SERIE:	05-019-022
FABRICANTE:	-
MARCA / MODELO:	-
TAMAÑO / CAPACIDAD:	-

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
ANCLA CABLE MUERTO



RANURAS DEL CABLE



SOLDADURAS OK



GRAPAS

PARTES	CONDICION
EJE	OK
RANURAS DE CABLE	OK
GRAPAS	OK
PINES SENSOR	OK
BASE	OK
TORNILLOS DE ANCLAJE	OK


OBSERVACIONES	---
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTK016	LAMPARA UV: MTLN-035	ULTRASONIDO:	RADIOMETRO: MTRD-003
PROCEDIMIENTO: PRDM-002-003	PARTICULAS. MAGNETICAS:	0.3 ml/100ml	INTENSIDAD LAMPARA:	3200 μ Watts / cm ²

INSPECTOR
NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A

CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020



REPORTE DE INSPECCIÓN - MALACATE PRINCIPAL

NEC-G6-FI-037
Version: 2
09/06/2017

COMPañIA ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY

UBICACIÓN PASTORA SUR 1 RIG/EQUIPO RIG- E 1225

FECHA DE INSPECCION 13 DE ABRIL DEL 2019

FECHA DE EXPIRACION ING. LUCAS CORONEL

IDENTIFICACION DEL INSPECTOR CARLOS ALBERTO ORTIZ NIVEL II CRT/COUT/CVT-02413-14

ORDEN INTERNA DE TRABAJO NEC-906-19

No de REPORTE NEC-7530-1/19

PROCEDIMIENTO ASOCIADO NEC-G6-Pr-002/NEC-G6-Pr-004/NEC-G6-Pr-005

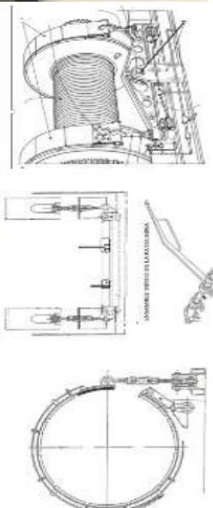
DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA

FABRICANTE IRI INTERNACIONAL

IDENTIFICACION 05-274-081


CAPACIDAD 60000 LBS / MODELO 2350

TIPO DE HERRAMIENTA




REGISTRO FOTOGRAFICO


VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



OTRAS VISTAS/IDENTIFICACION



INSPECCION DIMENSIONAL

MALACATE		PALANCAJE		GRASERA	
OD TAMBOR	ESPOSOR BANDAS	SOLDADURAS	DIAMETRO EJE	PALANCAJE	GRASERA
79 1/2"	1.095"-1.030"	OK	2 1/16"	OK	OK
MALACATE		PALANCAJE		GRASERA	
OD TAMBOR	ESPOSOR BANDAS	SOLDADURAS	DIAMETRO EJE	PALANCAJE	GRASERA
79 1/2"	1.095"-1.030"	OK	2 1/16"	OK	OK

INSPECCION VISUAL Y NO DESTRUCTIVA

DESGASTE	CORROSION	FRACTURA	POROSIDAD	DEFLEXION	ESTIRADO
NO	NO	NO	NO	NO	NO

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO


CONDICION FINAL OPERATIVO REPARABLE FUERA DE SERVICIO

CATEGORIA DE INSPECCION III API RP 8B 3.1.3


VERIFICACION DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

SUPERFICIE	LAMPARA(UV001)	YOKE AC (YK001)	BOBINA DC (001)	CONC-PARTICULAS	LUZ VISIBILE	TIPO DE CORRIENTE	DIR. DE CAMPO	LUZ DE TRABAJO	DESMAGNETIZAR	PINTURA PROTEC	REGISTRO FOTOGRAFIA	VENCIAMIENTO PATRONES
SSPC-SP-3	1357lm/cm ²	30 Lbs	N/A	N/A	100%	<input checked="" type="checkbox"/> AC	DC	LONGITUDINAL	2Fc	N/A	N/A	NEC-AX-001-SEP-2019 NEC-EX-003-AGO-2019 NEC-PM-001-SEP-2019 NE-RENTES-SEP-2019


REVISADO POR




FIRMA INSPECTOR NDI NIVEL II




REVISADO POR




FIRMA INSPECTOR NDI NIVEL II




REVISADO POR



FIRMA DE CLIENTE






Carretera 28 No 13-20 of 53 Funza-Cundinamarca
PBX: 9223592 / MOVIL: 3108061053
operaciones@novatechengeering.com.co

PAGINA 1 DE 2

www.novatechengeering.com.co

Fuente: ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES 2020



REPORTE DE INSPECCIÓN - ANCLA DE CABLE MUERTO

NEC-G6-FR-025
Version: 2
09/06/2017

COMPANIA ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY

UBICACION PASTORA SUR 1 RIG/EQUIPO RIG-E 1225

FECHA DE INSPECCION 13 DE ABRIL DEL 2019

SOLICITADO POR: ING. LUCAS CORONEL

IDENTIFICACION DEL INSPECTOR CARLOS ALBERTO ORTIZ NIVEL II CMT/CUT/CVT-02413-14

ORDEN INTERNA DE TRABAJO NEC-906-19

No de REPORTE NEC-7499-1/19

PROCEDIMIENTO ASOCIADO NEC-G6-FR-002, NEC-G6-FR-004

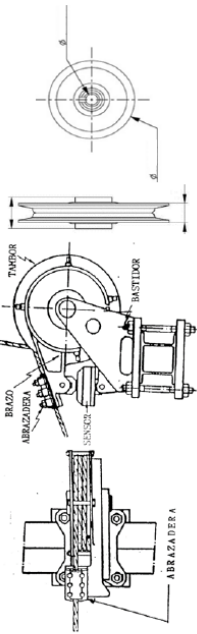
DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA

FABRICANTE DESCONOCIDO

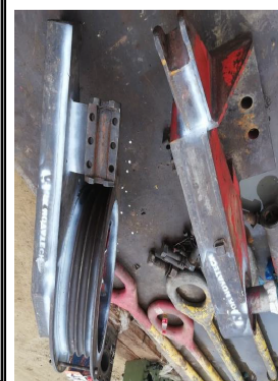
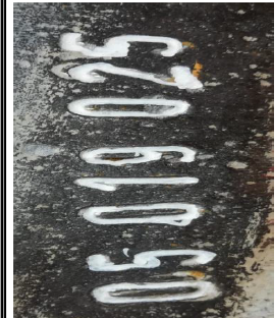
IDENTIFICACION 05-019-025

CAPACIDAD 60.000Lbs

TIPO DE HERRAMIENTA



REGISTRO FOTOGRAFICO

INSPECCION DIMENSIONAL

ANGLA	SOPORTE	GRAPA
OD 8.1/4"	CABLE 1.1/4"	TORNILLO BASE OK
PESTAÑA 1.3/8"	SOPORTE 8	OK
	SOLDADURA OK	OK

INSPECCION VISUAL Y NO DESTRUCTIVA

DESGASTE	CORROSION	FRACTURA	POROSIDAD	DEFLEXION	ESTRADO
NO	NO	NO	NO	NO	NO

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO API 8B/API SPEC 7K CAP 9.8 /AWS D1.1 TABLA 6

CONDICION FINAL OPERATIVO REPARABLE FUERA DE SERVICIO

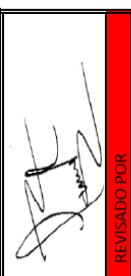
CATEGORIA DE INSPECCION IV API RP 88 3.1.4

VERIFICACION DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS


SUPERFICIE	LAMPARA(UV001)	YOKE AC (M001)	BOBINA DC (001)	CONC. PARTICULAS	LUZ VISIBLE	TIPO DE CORRIENTE	DIR. DEL CAMPO	REGISTRO	FOTOGRAFIA
SPP-SP-3	1397mw/cm ²	10 Lbs	N/A	0.3mL/100ml	100Fc	<input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC	LONGITUDINAL	2Fc	N/A
								DESAGNETIZAR	PINTURA PROTEC
								DESMAGNETIZAR	2Fc
								DESMAGNETIZAR	2Fc
								DESMAGNETIZAR	2Fc

OPERATIVO


REVISADO POR



FIRMA INSPECTOR NOT NIVEL II



FIRMA DE CLIENTE




NOVATECH ENGINEERING COMPANY S.A.S.

CONTACTO: 322282-72882828

CODIGO AUTORIZACION: NEC-7499-1/19

WWW.NOVATECHENGINEERING.COM.CO



PAGINA 1 DE 1

Carrera 28 No 13-20 of 53 Funza-Cundinamarca
PBX: 9223592/MOVI: 3108061053
operaciones@novatechengineering.com.co

www.novatechengineering.com.co

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020

REPORTE No MT – ESTRELLA – RIG 1724 - 001

CLIENTE	ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES	INSPECTOR CERTIFICADOS	CARLOS GUTIERREZ MT 563-NDT 5172
LUGAR	CASTAÑA 1	FECHA	08-05-2019
EQUIPO DE REFERENCIA	E-1724	OIT No.	01848

TIPO DE INSPECCIÓN			
NORMA REFERENCIA: IADC, API RP 7L			
VISUAL	X	PARTICULAS MAGNETICAS	X
DIMENSIONAL	X	LIQUIDOS PENETRANTES	-
ULTRASONIDO	X	ULTRASONIDO DEFECTOLOGIA	-
CATEGORIA	III	IV	X

NUMERO DE SERIE:	05 724 034
TIPO:	SERIAL N° L 227
MARCA / MODELO:	IDECO
TAMAÑO / CAPACIDAD:	E-1770

DESCRIPCION DEL MATERIAL INSPECCIONADO
MALACATE

1. BASE
2. TAMBOR
3. BANDAS
4. BALANCIN
5. BARRA DEL FRENO
6. TENSORES DE GRADUACION DEL FRENO
7. PATINES TOPES DE LAS BANDAS
8. PATECABRA


OBSERVACIONES	OK OPERATIVO
CONDICIÓN FINAL: OPERATIVO	

CONDICIONES TECNICAS APLICADAS				
CORONA: ---	AC YOKE: MTYK -009	LAMPARA UV: MTLN -026	ULTRASONIDO: ---007	RADIOMETRO: MTRD -003
PROCEDIMIENTO: PRDOM 002	PARTICULAS. MAGNETICAS: 0,3 ml/100ml		INTENSIDAD LAMPARA: 1300 µ Watts / cm²	


INSPECTOR
NIVEL II/ASNT-SNT-TC-1A


CLIENTE

Fuente: ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020



REPORTE DE INSPECCIÓN - ANCLA DE CABLE MUERTO


NEC-Go-Fl-025
Version: 2
09/06/2017

COMPANÍA ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES
UBICACIÓN CORALILLO 7 RIG/EQUIPO E-1724
FECHA DE INSPECCION 15 DE JULIO 2019
SOLICITADO POR ING. PAULA CORTES

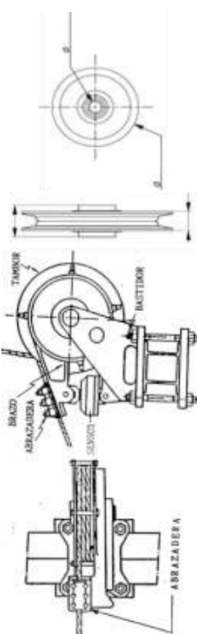
IDENTIFICACION DEL INSPECTOR JUAN CARLOS CASTILLA NIVEL II ASNT VI-MT-UT-PT 00118
ORDEN INTERNA DE TRABAJO NEC-954-19
No DE REPORTE NEC-8454-II/19
PROCEDIMIENTO ASOCIADO NEC-Go-Pr-002/ Insp. Visual/NEC-Go-Pr-004 Part. Magnetica

FABRICANTE NATIONAL - MODEL 131 T
IDENTIFICACION 0-5019028
CAPACIDAD 100,000 LBS

REGISTRO FOTOGRAFICO



TIPO DE HERRAMIENTA



DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA

NATIONAL - MODEL 131 T
0-5019028
100,000 LBS

INSPECCION DIMENSIONAL

ANCLA	SOPORTE	GRAPA
OD	CABLE	SOLDADURA
35"	1/2"	1 3/8"
% DESGASTE GENERAL	0	AREA ESPECIFICA

INSPECCION VISUAL Y NO DESTRUCTIVA

DESGASTE	CORROSION	FRATURA	POROSIDAD	DEFLEXION	ESTIRADO
NO	NO	NO	NO	NO	NO

CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO API SPEC 7K CAP 9.8 / AWS D1.1 TABLA 6


CATEGORIA DE INSPECCION III API 88

CONDICION FINAL OPERATIVO REPARABLE FUERA DE SERVICIO


VERIFICACION DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

SUPERFICIE	LAMPARA(U0001)	YOKE AC (W0115)	BOBINA DC (0133)	LONG-PARTICULAS	LUZ VISIBILE	TIPO DE CORRIENTE	DIR. DEL CAMPO	LUZ DE TRABAJO	DESMAGNETIZAR	PINTURA PROTEC	REGISTRO	VENCIMIENTO
SSPC SP-3	1697uw/cm²	10 Lbs	N/A	0.3mL/100mL	100Fc	<input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC	LONGITUDINAL	2Fc	N/A	N/A	FOTOGRAFIA	PATRONES


FIRMA INSPECTOR NDT NIVEL II



REVISADO POR ING MANUEL RODRIGUEZ



FIRMA DE CLIENTE



CODIGO AUTORIZACION NEC-8454-II/19
CONTACTO: 823282-210861053

NOVATECH ENGINEERING COMPANY S.A.S.
CALLE 128 No. 24 A-79 Funza - Cundinamarca
PBX: 9223592/MOVI: 3108061053
operaciones@novatechengineering.com.co

www.novatechengineering.com.co

Fuente: ESTRELLA INTERNACIONAL ENERGY SERVICES 2020

ANEXO F.

INFORME GENERADO POR LA HERRAMIENTA DIGITAL PARA EL POZO FUA 1

ESTRELLA International Energy Services		NOMBRE DEL EQUIPO: Equipo E-1724																			
		INFORMACION DEL EQUIPO																			
Diametro de cable (Pulg)		1 3/8		Altura de torre (ft.)		142		Tipo de equipo		Perforacion											
Toneladas milia para correa(max)		1518		Diametro malacate (Pulg)		28		Poleas en uso <td colspan="2">12</td>		12											
FECHA	longitud parada	peso/ft drill pipe	peso total viajero	Peso DC.1	longitu d DC.1	Peso DC.2	longitu d DC.2	Peso DC.3	longitu d DC.3	Peso HW	longitud HW	peso lodo	viaje comp.	viaje cort.	perforand o	Casing	Corazona- miento	martilleo	stuck pipe	total dia	total ton.
9-feb	94	15.5	32000	148	59.05	90.61	92.49					8.6	0	7,0990479	7,4392104	0	0	0	0	14,538238	14,538258
10-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	451	8.6	0	7,8866541	23,203234	0	0	0	0	3,725657	3,725657
11-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	513.74	8.8	0	96,237425	96,237425	0	0	0	0	31,091888	34,817545
12-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	513.74	8.8	0	92,780222	32,96107	0	0	0	0	96,237425	131,05497
13-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	513.74	8.8	0	24,70528	0	0	0	0	0	125,74129	256,79626
14-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	513.74	8.8	0	24,70528	0	0	0	0	0	24,70528	281,50154
15-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	513.74	8.8	0	2,4507884	0	120,76871	0	0	0	120,76871	402,27025
16-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	451.5	9.2	0	112,5524	0	0	0	0	0	2,4507884	404,71104
17-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	451.5	9.2	0	195,71147	42,557653	0	0	0	0	112,5524	517,25344
18-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	451.5	9.2	0	0	0	0	0	0	0	238,26911	755,52254
24-feb	94	15.5	32000	90.61	181.91					57.93	451.5	8.4	0	0	0	37,72407	0	0	0	37,72407	799,24661

Fuente: Elaboración propia basado en ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES 2020 CYC WIRE ROPE CONTROL

ANEXO G.
INFORME DE INSPECCIÓN VISUAL Y DIMENSIONAL PRUEBAS DE LABORATORIO



INSPECCIÓN DE CABLE.

Cliente : Estrella Internacional
Producto : Cable de acero BIP.
Asunto : Inspección Visual y dimensional
Fecha : 2020 – 06 – 10

Cables de 1 1/8”:

Muestra 1 (cable con el software preexistente).

Característica	Diámetro		Longitud. de paso	
	Pulgadas	mm	Pulgas	mm
Lecturas	1.083	27.508	7.218	183.337
	1.102	27.990		
	1.069	27.152		
	1.068	27.127		
Promedio	1.080	27.432		

Muestra 2 (cable con la nueva herramienta digital).

Característica	Diámetro		Longitud. de paso	
	Pulgadas	mm	Pulgas	mm
Lecturas	1.110	28.194	7.27	184.69
	1.088	27.635		
	10.68	27.127		
	1.102	27.990		
Promedio	1.092	27.736		

Cables de 1 ¼”:

Muestra 3. (Cable con el software preexistente)

Característica	Diámetro		Longitud. de paso	
	Pulgadas	mm	Pulgas	mm
Lecturas	1.257	31.928	8.18	207.77
	1.240	31.496		
	1.264	32.106		
	1.248	31.699		
Promedio	1.250	31.75		

Muestra 4. (Cable con la nueva herramienta digital).

Característica	Diámetro		Longitud. de paso	
	Pulgadas	mm	Pulgas	mm
Lecturas	1.240	31.496	7.81	198.37
	1.231	31.267		
	1.228	31.191		
	1.233	31.318		
Promedio	1.233	31.318		

Los datos registrados corresponden única y exclusivamente a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras de cable identificadas por el cliente ESTRELLA INTERNATIONAL y entregadas a Emcocables.

De acuerdo con la inspección visual las muestras de cable, presentan desgaste superficial en los alambres exteriores, no se detectaron alambres rotos en toda la superficie de la muestra.

Estados de los alambres exteriores.





Se evidencia laminación de los alambres exteriores, este aspecto se da por el desgaste asociado al uso del cable y por tanto causa reducción del diámetro del cable.

ANEXO H.

INFORME DE ENSAYOS DE TRACCIÓN PRUEBAS DE LABORATORIO.



Reporte de pruebas N. 01-2020
 Cliente: ESTRELLA INTERNATINAL
 Dirección: Carrera 17 No. 93 A -02 piso 4 Bogotá
 Aceptación pedido:
 Fecha de recepción de muestra(s): 2020-05-19
 Fecha de ejecución del ensayo: 2020-06-04
 Norma de referencia para el ensayo: ASTM A 370

RESULTADO DE PRUEBAS

El presente informe consta de (2), páginas y contiene el(los) resultado(s) del(los) siguiente(s) ensayo(s) realizados carga de rotura.

Los datos y resultados presentados corresponden exclusivamente a la(s) muestra(s) sometida(s) a ensayo.

Descripción de producto:	Cable de acero BIP. AA.
	Ensayo 1
	Carga de rotura
	kgf
Número de muestra	
Prueba 1 - cable con el software preexistente, diámetro 1-1/8"	56750
Prueba 2 - cable con la nueva herramienta digital, diámetro 1-1/8"	58000
Prueba 3- Cable con el software preexistente, diámetro 1-1/4"	63250
Prueba 4- cable con la nueva herramienta digital, diámetro 1-1/4"	76000

Observaciones:

Equipos utilizados en las pruebas:

Equipo	Certificado de calibración N°	Fecha de calibración	Calibrado por
Maquina de ensayos a tensión FORNEY	4999	19/02/2019	SERVINTEGRAL LTDA

Nota: Para solo aquellos casos donde EMCOABLES S.A.S., permita conservar testigos de ensayos o contra muestra, estos se almacenarán por un periodo máximo de 30 días, luego de la emisión del informe. Lo anterior no dará lugar en ningún caso a reclamaciones adicionales por parte de nuestro cliente o contratante. Para situaciones especiales se nos deberá enviar de manera anticipada un escrito con instrucciones precisas de los ensayos adicionales que puedan requerirse.

EMCOABLES S.A.S. Km. 5.5 vía Cajicá – Zipaquirá, Colombia. Tel: (571) 3766030, Fax: 57 (571)376 60 30 ext.: 2230

VIGENCIA: 29/11/2016

F-1016

Página 1 de 3

Fuente: EMCOABLES 2020



Reporte de pruebas N. 01-2020

Cliente: ESTRELLA INTERNATINAL

Dirección: Carrera 17 No. 93 A -02 piso 4 Bogotá

Aceptación pedido:

Fecha de recepción de muestra(s): 2020-05-19

Fecha de ejecución del ensayo: 2020-06-04

Norma de referencia para el ensayo: ASTM A 370

Este reporte de ensayos no podrá ser reproducido total y/o parcialmente sin autorización escrita del laboratorio que emite. Los resultados consignados en este certificado, se refieren **únicamente** al objeto sometido a ensayo(s), al momento y condiciones en las que se realizaron los ensayos; el laboratorio no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de este reporte.

This certificate of test cannot be reproduced totally or partially without written authorization of the issuing laboratory. The results of this certificate are for the object of test, at the conditions in which the tests were made. The laboratory does not take responsibility from the inadequate use of this report.

Firmas autorizadas.

Agustín Orjuela Malagón.
Coordinador de Laboratorio
EMCOCABLES S.A.S.

Ing. Tatiana Alvarez
Director Sistema Integrado.
EMCOCABLES S.A.S.

Fin del informe

EMCOCABLES S.A.S. Km. 5.5 vía Cajicá – Zipaquirá, Colombia. Tel: (571) 3766030, Fax: 57 (571)376 60 30 ext.: 2230

VIGENCIA: 29/11/2016

F-1016

Página 2 de 3

Fuente: EMCOCABLES 2020

ANEXO I.
MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL CABLE DE PERFORACIÓN



MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL CABLE DE PERFORACIÓN.

CONTENIDO

GLOSARIO	100
1 REGLAMENTACIÓN GENERAL	102
1. COMPRA	103
2.1 SELECCIÓN DEL CABLE.	103
2.2 ORDEN DE COMPRA.	105
2.3 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE RECIBO DE PRODUCTO.	105
3 ALMACENAMIENTO	107
4 USO	108
4.1 INSTALACIÓN.	109
4.2 OPERACIÓN.	110
4.3 CORRIDA Y CORTE.	111
5 INSPECCION	112
5.1 VISUAL.	112
5.2 DIMENSIONAL.	112
BIBLIOGRAFIA	114

INTRODUCCIÓN

El presente manual tiene como objetivo minimizar el desgaste mecánico del cable de perforación, mejorar las prácticas en la compra, almacenamiento, uso, inspección y mantenimiento de este y así asegurar la integridad de todo el personal involucrado y de los equipos. El manual reúne todas las recomendaciones dadas por; International Association Drilling Contractors (IADC), American Petroleum Institute (API) y las recomendaciones del fabricante para la manipulación del cable de perforación durante su vida útil en la compañía ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES.

GLOSARIO

Alambre. Hilo delgado de un metal proveniente del estiramiento de este.

Alma. núcleos de los cables que, en las estructuras sirven como soporte al trenzado de los alambres, torones y cordones. en cables IWRC 6x19 un 7% de la resistencia total del cable es gracias al alma a diferencia de otros cables, generalmente ubicadas en el medio del trenzado del cable. Principalmente existen tres tipos de alma, estas son; alma de fibra, IWRC o alma independiente de cable, alma de torón.

Descripción de capa. la descripción de la capa se divide en dos partes, la primera parte de esta descripción, hace referencia a la dirección en la cual los torones reposan sobre el cable, izquierda o derecha (left lay o righth lay), esto se puede identificar mirando a lo largo del cable identificando si el cable va de forma descendente del espiral hacia la izquierda o hacia la derecha, la segunda parte de la descripción define la relación entre la dirección de los torones respecto a la dirección de los alambres, en caso de que los alambres tengan dirección opuesta a la dirección de los torones se reconoce como regular lay, y en caso de tener la misma dirección se reconoce como lang lay. De este modo se pueden clasificar rápidamente los cables teniendo en cuenta la dirección del torón y el alambre.

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.

Grado. El grado depende del material de construcción del cable y por lo tanto se clasifican en tres diferentes tipos: Improved Plow Steel (IPS), Extra Improved Plow Steel (EIPS) y Extra Extra Improved Plow Steel (EEIPS).

Hoisting equipment. El Hoisting Equipment es el conjunto de equipos, herramientas y objetos que componen el sistema de izaje de los equipos de perforación y sus respectivos accesorios, los cuales son, el malacate, el cable de perforación, el ancla de la línea muerta, el bloque corona, el bloque viajero, el gancho y el carrete del cable.

Lubricación. la lubricación se define como el proceso para poder reducir o eliminar la fricción o rozamiento entre dos superficies, en el caso del cable de perforación, es necesario que este se encuentre apropiadamente lubricado para evitar la fricción con los elementos que interactúan con este y con su propia estructura, para ello se pueden utilizar diferentes tipos de lubricantes o grasas para garantizar el bienestar del cable.

Preformado. es el proceso en el cual los torones son formados helicoidalmente para asumir la forma y la posición en el cable terminado, esto permite mejorar las capacidades de los cables como resistencia a la fatiga, facilidad para manipular, resistencia a las torceduras.

Torón. Construcción de alambres enrollados helicoidalmente alrededor de un centro o punto fijo en una o más capas teniendo en cuenta las posibles configuraciones de torones existentes, las más utilizadas a nivel industrial son las single layer, seal, warrington, filler wire y las combinaciones entre estas mismas.

1 REGLAMENTACIÓN GENERAL

Al realizar cualquier de las actividades descritas en este manual se debe cumplir con todos los parámetros HSEQ y seguridad de procesos, establecidos por la compañía.

La manipulación del cable se debe realizar cuando este no esté siendo tensionado u operado por alguna herramienta, este nunca debe ser manipulado por una sola persona con el fin de evitar accidentes y garantizar el buen uso, se debe prestar especial atención al entorno y los elementos que interactúan con todo el cable para evitar la materialización de accidentes debido a que se pueden generar movimientos violentos en el cable y este puede lesionar gravemente al equipo de trabajo.

Todos los elementos que componen el sistema de izaje y que tienen alguna interacción con el cable de perforación deben ser inspeccionados según sus respectivas normas API, ASTM y ASME según lo indiquen y deben estar certificados para su uso.

1. COMPRA

Para la operación de compra, se establecen tres procedimientos fundamentales:

- Selección del cable.
- Orden o requerimiento de compra.
- Aseguramiento de calidad de recibo de producto.

2.1 SELECCIÓN DEL CABLE.

Se debe evaluar las cargas a las cuales será sometido el mismo y teniendo en cuenta las especificaciones del Hoisting Equipment, Además, se debe asegurar un factor de servicio para equipos de perforación de 3 y de workover de 2. En la tabla 1 se muestra la resistencia nominal a la ruptura de un cable 6x19 IWRC.

Tabla 23. Clasificación por número de torones y alambres.

Clasificación.	Número de torones.	Alambres por torón.
6x7	6	7
6x19	6	16-26
6x37	6	27-49
8x19	8	16-26

Fuente: Elaboración propia basado en IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 2

Tabla 2. Resistencia nominal a la ruptura para diferentes grados de cables.

Tensión nominal de ruptura para cables 6 X 19 IWRC (Independent wire rope core) Lbs		
Diámetro nominal	Improved Plowed Steel	Extra Improved Plowed Steel
1"	89,800	103,400
1 1/8"	113,000	130,000
1 1/4"	138,800	159,800
1 3/8"	167,000	192,000
1 1/2"	197,800	228,000

Fuente: UDABOL. Cálculo de tonelada milla. Bolivia: 2007 p 11 norma

En la tabla 2 se encuentran los tipos de cable usados por cada uno de los equipos de la compañía.

Tabla 24. Diámetro y tipo de cable usado en los diferentes equipos de ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES.

Equipo	Diámetro (In)	Características
E-707	1 1/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-722	1 1/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-910	1 1/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1523	1 3/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1008	1 1/4	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1225	1 1/4	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1724	1 3/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-2027	1 1/2	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-2029	1 3/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-2031	1 1/2	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1513	1 3/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1201	1 1/4	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-555	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-556	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-203	7/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-206	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-551	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-1001	1 1/8	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-101	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-102	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-103	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-201	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-202	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-204	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT
E-205	1	6X19 S-EIP-RRL-IWRC BRIGHT

Fuente: Elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

DESCRIPCIÓN DE ABREVIATURAS DE CABLE:

6X19: El cable posee 6 torones de 19 alambres cada uno.

S: La construcción de torón es tipo seal.

EIP: El grado del cable es Extra Improved plow Steel

RRL: El preformado del cable es right regular lay (torones tejidos hacia la derecha y alambres tejidos hacia la izquierda).

IWRC: El alma del cable es Independent wire rope core (alma de acero como un cable independiente).

BRIGHT: Acabado pulido del cable. Si los cables presentan una alta corrosión se pueden solicitar con un acabado galvanizado.

2.2 ORDEN DE COMPRA.

Los parámetros especificados por el comprador son:

- Referencia de construcción a la norma API 9A Edición 26, nov. 2016.
- Cantidad y longitud (en las unidades que apliquen para el país).
- Diámetro nominal (Depende del Hoisting equipment de cada equipo).
- Tipo de cable/ construcción. (Depende del Hoisting equipment de cada equipo)
Ver capítulo 2,1.
- Tipo de Alma. (IWRC)
- Grado del cable (Depende de los límites técnicos del equipo).
- Acabado del cable (Galvanizado, Pulido, etc.)
- Dirección de la capa y tipo (Depende si es un equipo derecho o izquierdo generalmente se utilizan equipos derechos e la compañía).
- Preformación (Regular lay).
- Lubricación (Lubricante seleccionado por la empresa proveedora para el tipo de cable seleccionado que sea compatible con el lubricante inicial).
- Requisitos de marcado (Para la identificación del cable).
- Requisitos de empaquetado
- Mínima fuerza de rompimiento requerida.

2.3 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE RECIBO DE PRODUCTO.

Se debe realizar la revisión una vez el material ingrese a las instalaciones de la compañía.

- Numero de certificación API de la empresa fabricante del cable.
- Nombre y dirección de la compañía fabricante o comerciante.
- Descripción del cable. (dimensiones, alma, numero de torones, numero de hilos, tipo).
- Ficha técnica de prueba de esfuerzo mínimo de rompimiento, debidamente firmado por el encargado del área técnica de la empresa que emita el documento.

- Fecha de expedición del certificado y autenticación de este.

Los anteriores documentos deben reposar en la biblioteca de información del equipo del pozo y deben ser verificados por el jefe de equipo y el almacenista tan pronto el cable arribe en la locación especificada.

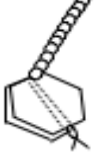





3 ALMACENAMIENTO

- El cable debe ser movilizado hasta el lugar de almacenamiento en su respectivo carrete con la precaución de que ningún objeto pueda golpear directamente el cable.
- El cable debe mantenerse alejado de elementos filosos con los cuales al contacto puede generar el rompimiento de hilos.
- El cable debe ser cargado y descargado en su carrete con la ayuda de un equipo de levantamiento de peso para evitar golpes contra la superficie (cargador), nunca se debe dejar caer el carrete.
- En caso de ser necesario enrollar o desenrollar cable, se debe utilizar únicamente las azas o brazos correspondientes al carrete, no se debe manipular directamente para evitar daño de la estructura.
- El cable debe reposar en un área la cual este bien ventilada, evitando al máximo la humedad, para prevenir la corrosión.
- El cable debe quedar en un área fuera de la intemperie para evitar que la lluvia genere humedad y así evitar la corrosión.
- El cable debe ser almacenado en lugares sin exposición a vapores de agua para evitar la corrosión.
- El cable debe mantenerse alejado de componentes químicos o sus vapores para evitar cambios en su estructura o composición.
- El cable debe mantenerse alejado de la tierra, arena o partículas que puedan adherirse a este, debido a que estos elementos pueden generar abrasión al utilizarlo.
- Aplicar el lubricante de conservación antes del almacenamiento (mobilarma-798).
- Recubrir el carrete con un elemento que pueda protegerlo de elementos externos (plástico o lona).
- Para evitar los efectos de abrasión se debe lavar el cable con agua a baja presión eliminando la presencia de tierra, arena, barro u otros elementos perceptibles.
- Al finalizar el periodo de almacenamiento se debe realizar una inspección visual al cable, si el cable ya no tiene el lubricante de fabrica este no es operativo.

4 USO

- El cable no debe tener ningún contacto o roce con elementos distintos a las poleas y tambores del malacate y ancla de la línea muerta.
- Apriete siempre las tuercas con un torquímetro llevando estas al torque indicado especificado en el manual de uso, en caso de no disponer de este manual utilice las tablas de torque para el tipo de tuerca y tornillo que se encuentran en la tabla 3

Tabla 25. Torque recomendado para tornillos grado 5, 7 y 8.

TORQUE RECOMENDADO PARA TORNILLOS GRADO 5, 7 Y 8							
							
MAKE-UP TORQUE VALUES FT. LBS.							
BOLT GRADE	SAE GRADE 5			SAE GRADE 7			
		DRY	LUBE	DRY	LUBE	SAE GRADE 8	
BOLT SIZE							
5/16 - 16 NC	16 - 17	12 - 13	20 - 21	15 - 16	23 - 25	17 - 18	
5/16 - 24 NF	18 - 19	13 - 14	22 - 24	17 - 18	23 - 25	19 - 20	
3/8 - 16 NC	28 - 30	21 - 23	37 - 40	19 - 20	42 - 45	33 - 35	
3/8 - 24 NF	33 - 35	23 - 25	42 - 45	28 - 30	47 - 50	33 - 35	
7/16 - 13 NC	47 - 50	33 - 35	56 - 60	42 - 45	65 - 70	51 - 55	
7/16 - 20 NF	51 - 55	37 - 40	65 - 70	47 - 50	74 - 80	56 - 60	
1/2 - 13 NC	70 - 75	51 - 55	88 - 95	65 - 70	102 - 110	74 - 80	
1/2 - 20 NF	84 - 90	61 - 65	93 - 100	74 - 80			
9/16 - 12 NC	102 - 110	74 - 80	126 - 135	93 - 100	140 - 150	102 - 110	
9/16 - 16 NF	112 - 120	84 - 90	140 - 150	102 - 110	150 - 170	121 - 130	
5/8 - 11 NC	140 - 150	102 - 110	177 - 190	130 - 140	205 - 220	158 - 170	
5/8 - 18 NF	158 - 170	121 - 130	195 - 210	149 - 160	223 - 240	167 - 180	
3/4 - 10 NC	242 - 260	186 - 200	298 - 320	223 - 240	353 - 380	260 - 280	
3/4 - 16 NF	279 - 300	205 - 220	335 - 360	260 - 280	391 - 420	298 - 320	
7/8 - 9 NC	400 - 430	298 - 320	484 - 520	372 - 400	558 - 600	428 - 460	
7/8 - 14 NF	437 - 470	326 - 350	539 - 580	409 - 440	614 - 660	465 - 500	
1 - 8 NC	595 - 640	446 - 400	744 - 800	558 - 600	837 - 900	632 - 680	
1 - 12 NF	651 - 700	498 - 530	800 - 860	614 - 660	930 - 1000	688 - 740	
1 1/8 - 7 NC	744 - 800	558 - 600	1042 - 1120	781 - 840	1190 - 1280	893 - 960	
1 1/8 - 12 NF	818 - 880	614 - 660	1172 - 1260	874 - 940	1339 - 1440	1004 - 1080	
1 1/4 - 7 NC	1042 - 1120	781 - 840	1469 - 1580	1023 - 1100	1693 - 1820	1265 - 1360	
1 1/4 - 8 NC	1098 - 1180	819 - 880	1553 - 1670	1126 - 1210	1777 - 1910	1330 - 1430	
1 1/4 - 12 NF	1153 - 1240	856 - 920	1637 - 1760	1228 - 1320	1860 - 2000	1395 - 1500	
1 3/8 - 6 NC	1358 - 1460	1023 - 1100	1934 - 2080	1451 - 1560	2213 - 2380	1655 - 1780	
1 3/8 - 12 NF	1562 - 1680	1172 - 1260	2213 - 2380	1655 - 1780	2530 - 2720	1897 - 2040	
1 1/2 - 6 NC	1804 - 1940	1358 - 1460	2585 - 2780	1934 - 2080	2939 - 3160	2195 - 2360	
1 1/2 - 8 NC	1925 - 2070	1442 - 1550	2734 - 2940	2046 - 2200	3125 - 3360	2134 - 2210	
1 1/2 - 12 NF	2046 - 2200	1525 - 1640	2883 - 3100	2158 - 2320	3311 - 3560	2074 - 2660	

Fuente: Elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

Para utilizar las tablas de torque es necesario identificar el grado del tornillo que está utilizando actualmente (se recomienda grado 8) y si el tornillo está lubricado o no. Utilice el tamaño del tornillo para lograr establecer el torque apropiado mediante el valor proporcionado por la tabla teniendo en cuenta las características

identificadas anteriormente. los tornillos y espárragos deben ser limpiados para retirar el óxido y la suciedad, posteriormente se debe aplicar grasa o lubricante al sistema. Tenga en cuenta el coeficiente de fricción correspondiente a la grasa o lubricante y multiplíquelo con el torque del tornillo sin lubricar y así obtener el torque recomendado.

- Se deben evitar las altas velocidades en la línea rápida debido a que estas producen una mayor fricción en la interacción con las poleas, esto genera daño a la integridad del cable por abrasión y/o pérdida del diámetro. Es recomendable no superar una velocidad en la línea rápida de 4000 pies por minuto.

Para evitar las altas velocidades en la línea rápida, se debe controlar la velocidad en el bloque viajero en los momentos de subida y bajada de este, teniendo en cuenta el número de líneas que están siendo utilizadas actualmente.

En tabla 4 se expone la máxima velocidad del bloque dependiendo el número de líneas utilizadas en el equipo.

Tabla 26. Velocidad máxima en el bloque viajero según la cantidad de líneas de los equipos.

No. de líneas	6	8	10	12
Vel. Maxima (ft/seg)	11,1	8,3	6,7	5,6

Fuente: Elaboración propia basado en Estrella International Energy Services 2020

4.1 INSTALACIÓN.

La instalación del cable de perforación en tambor del malacate debe garantizar que se haga sin torque atrapado en la línea, evitando así daños prematuros. De igual manera, se recomienda tenerlo tensionado y hacer el encarrilamiento en el Groove, para que su enrollamiento se haga acorde.

Para realizar el procedimiento de enhebrado es necesario seguir las siguientes instrucciones:

- Realizar charla de preoperacional y de seguridad advirtiendo sobre los cuidados necesarios en la ejecución de esta operación.
- Ubicar el carrete en la posición adecuada según el layout de cada equipo y al sistema de enhebrado de poleas requerido.
- Posicionar el cable guía a lo largo de la configuración del sistema de izaje, este cable posee un peso menor que el cable de perforación y por lo tanto es fácil de

manipular a través de las herramientas y poleas por las cuales se requiere que pase el cable de perforación.

- Unir el cable guía al cable de perforación usando la herramienta snake o “culebra”, la cual, cumple su función mediante presión en los extremos de cada uno de los cables.
- Halar el cable guía por el extremo contrario a la conexión de la culebra, utilizando el malacate o carro macho para que el cable de perforación pueda posicionarse en la configuración de poleas.
- Anclar el cable en el malacate teniendo en cuenta las tablas de torque 4, si es necesario, usar un mazo blando para ayudar el cable a tomar el canal y ajustarse al, tambor, debe realizar con mayor cuidado.
- Al realizar el enrollado del cable en el malacate evite torceduras, formación de cocas y fatigas por dobleces introduciendo el cable en el malacate de forma lenta y en posición perpendicular al tambor.
- Se debe asegurar que en el tambor del malacate se encuentren mínimo 10 vueltas de cable con el bloque en la mesa.

4.2 OPERACIÓN.

Se recomienda realizar inspecciones del cable de perforación con una frecuencia mínima semanal, para monitorear el desgaste mecánico generado por la interacción del cable con el sistema de izaje. (Consulte el capítulo 5 de este manual).

Se debe llevar el control del desgaste operativo mediante el cálculo de la variable tonelada milla con el software “ESTRELLA TON-MILE”, el cual, a través de anuncios específicos determinará tres situaciones específicas respecto al desgaste operacional del cable y las acciones pertinentes:

TODO FUNCIONANDO: El cable no ha sufrido un desgaste operativo considerable. Realice la inspección semanal de forma normal.

ATENCIÓN: El cable ha superado el 70 % de la acumulación de Tonelada illa máxima recomendada. Realice una inspección tan pronto como se genere el anuncio en el software y continúe realizando inspecciones diarias hasta el momento en el que realice la operación de corrida y corte.

CORRER Y CORTE CABLE: El cable ha superado el 100% de la acumulación de Tonelada milla máxima recomendada y por lo tanto se debe realizar el procedimiento de corrida y corte de forma inmediata (Procedimiento 03-00-429).

4.3 CORRIDA Y CORTE.

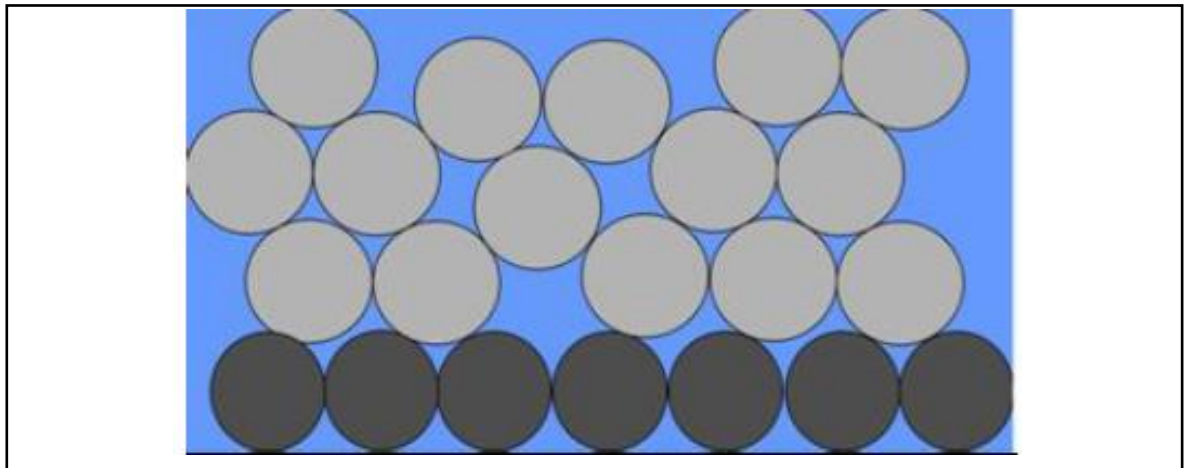
Según el equipo en el que se encuentre, el software “ESTRELLA Ton-mile” calcula la distancia que debe cortar según la tonelada-milla acumulada. Se debe correr y cortar cable cuando:

- Se llega al valor máximo permisible de tonelada-milla.
- Los resultados de las inspecciones no son satisfactorios y exceden los límites de desgaste permisibles (Capítulo 5).

Consultar el procedimiento 03-00-429 corrida y corte de cable.

Se recomienda realizar el corte acorde a la Toneladas milla acumulada. Acumular cable en el malacate, al tener desgaste (principalmente reducción de diámetro) por la operación, hacen que las capas superiores no encajen en las ranuras, causando un enrollado disparejo y una alta fricción en la línea, lo que puede generar avanzado desgaste mecánico y eventualmente un rompimiento inesperado. En la figura 1, el cable de menor diámetro se observa con el color más oscuro en la imagen.

Figura 14. Encarrillado del cable por acumulación de cable desgastado.



Fuente: LEBUS INTERNATIONAL INCORPORATION, Groove inspection. USA: Texas 2011 DWG: P3287-501A, CI: 17798

5 INSPECCION

Existen dos tipos de inspecciones en campo para el cable de perforación, estas deben cumplir con las condiciones mínimas para poder concluir que el cable se encuentra en condiciones operativas, en caso de que cualquiera de las inspecciones tenga un resultado negativo se debe realizar el correspondiente procedimiento de corrida y corte. Se debe correr y cortar la cantidad de cable relacionado a la cantidad de toneladas-milla acumuladas hasta la fecha, este valor es suministrado por el software ESTRELLA TON-MILE.

Se recomienda realizar estas inspecciones mínimo 1 vez cada 7 días y cuando la herramienta digital señale que debería revisarse según el anuncio emitido por la misma (consulte el capítulo de uso en la sección de operación.).

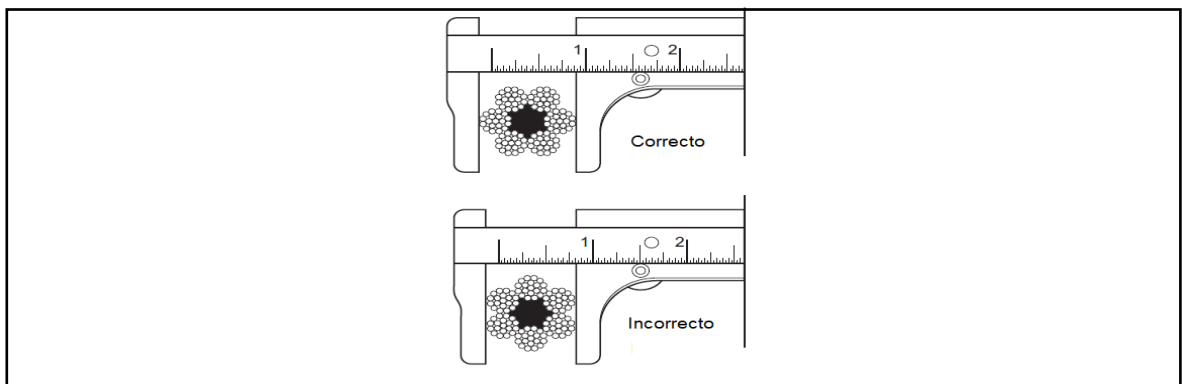
5.1 VISUAL.

Examinar el cable, especialmente en los puntos críticos, verificar que no se vea el alma del cable en ningún punto y que no tenga más de 6 alambres rotos a lo largo de un paso o 3 alambres rotos en un mismo torón a lo largo de un paso.

5.2 DIMENSIONAL.

La medición del diámetro del cable se debe realizar desde el punto más alto de un torón hasta el punto más bajo del torón que se encuentra en la contraparte del primer torón (Figura 2).

Figura 2. Método correcto de medición de diámetro.



Fuente: IADC. Drilling manual, 7 edition. USA: IADC, 2007 Chapter M Section 2 p 2.

1. Medir el diámetro inicial del cable en la línea muerta en tensión en el carrete nuevo.
2. Medir el diámetro del cable a la entrada del malacate.

Determinar la pérdida de diámetro del cable a la entrada del malacate respecto al diámetro inicial del cable (Ecuación 1). **Si el porcentaje de pérdida del diámetro es superior al 7,5% el cable no es operativo.**

Ecuación 10. Pérdida de diámetro para inspección dimensional.

$$\Delta d = \frac{d_i - d_m}{d_i} * 100$$

Fuente: EMCOCABLES 2020

Donde:

Δd = Pérdida del diámetro del cable. %

d_i = Diámetro inicial del cable del carrete nuevo. In

d_m = Diámetro medido del cable a la entrada del malacate. In

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Aplicación, cuidado y uso de cables para servicio petrolero, 13 edición. USA: API 9b, 2011

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended Practice for Occupational Safety for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations, 3 edition. USA: API, 2007

EMCOCABLES 2020

ESTRELLA INTERNATIONAL ENERGY SERVICES. Corrida y corte de cable, procedimiento. 03-00-429.

INTERNATIONAL ASSOCIATION DRILLING CONTRACTORS. Drilling manual, 12 edition. USA: IADC, 2015 Chapter wire rope pp. 14. ISBN: 978-0-9915095-7-7

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Crane-Wire ropes- Care and maintenance, inspection and discard, 5 edition. USA: ISO 4309:2017.