

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ATS AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S.
COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA ASESORANDO LA CREACIÓN DE LA LÍNEA
DE NEGOCIO REGIONAL ENFOCADA EN PROCESOS DE REPARACIÓN DE
SECCIONES TUBULARES EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA-
SANTANDER

MAYRA MARCELA REY HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ATS AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S.
COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA ASESORANDO LA CREACIÓN DE LA LÍNEA
DE NEGOCIO REGIONAL ENFOCADA EN PROCESOS DE REPARACIÓN DE
SECCIONES TUBULARES EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA-
SANTANDER

MAYRA MARCELA REY HERNÁNDEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
METALÚRGICO

DIRECTOR

CARLOS ANDRES GALÁN PINILLA
MSc. EN INGENIERÍA DE MATERIALES

CODIRECTOR

DAVID ERNESTO MARTÍNEZ PÁEZ
MSc. EN ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, salud, por guiarme en mi camino, por los triunfos, tiempos difíciles y por permitirme llegar a este momento especial de mi vida universitaria.

A mi madre Lina, por todo el esfuerzo que ha hecho para hacer de mí una persona de bien, todo lo que soy y mis logros han sido gracias a ti.

A mis hermanas Kim y Yus, quienes con su apoyo incondicional, consejos y palabras de aliento no me dejaban desfallecer para seguir adelante.

A mi abuela Florinda, por ser una de las columnas de mi vida, mi motivación e inspiración. Gracias por tu apoyo, amor y enseñanzas.

A mi mejor amigo Jerson por brindarme su amistad los últimos años, siendo incondicional y un apoyo para lograr juntos el mismo objetivo.

A mi tío la mechua, por ser mi apoyo económico y consejero en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis compañeros, profesores, técnicos y todos aquellos que compartieron su tiempo, conocimiento, alegrías y tristezas durante mi estadía en tan reconocido plantel.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su bendición, amor y sabiduría para sacar adelante el proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por dar la oportunidad de ser parte de su comunidad universitaria y permitir crecer intelectualmente.

Al profesor Carlos Galán, por su tiempo, dedicación, apoyo, enseñanza y por la oportunidad de desarrollar el proyecto.

A la empresa ATS American Tubular Services S.A.S. por dar la oportunidad de ser parte de una de sus regionales, permitirme el desarrollo del proyecto y por ayudarme a crecer en conocimiento en el área de inspección de la sarta de perforación.

A mis colegas ingenieros, auxiliares e inspectores quienes compartieron su tiempo, conocimiento y brindaron apoyo ante dudas e inquietudes presentadas frente al campo de la industria de hidrocarburos.

Gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2. MARCO TEÓRICO	21
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1 ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	24
3.2 ETAPA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE DAÑO Y TIPOS DE REPARACIÓN.....	25
3.3 ETAPA 3. ANÁLISIS DE LOS SERVICIOS A OFRECER.....	25
3.3.1 Selección de los Ensayos No Destructivos.. ..	25
3.3.2 Selección de los procesos metal-mecánicos.....	26
3.4 ETAPA 4. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	26
3.4.1 Evaluación de las características y alcances.. ..	26
3.4.2 Elegir las herramientas y equipos	26
3.5 ETAPA 5. PROPONER LEMA, MISIÓN, VISIÓN Y PERFIL DEL PERSONAL.....	26
3.6 ETAPA 6. ELABORACIÓN Y ENTREGA DEL INFORME FINAL	27

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	28
4.1 MECANISMOS DE DAÑO Y TIPOS DE REPARACIÓN	28
4.2 SERVICIOS A OFRECER.....	35
4.2.1 Ensayos No Destructivos.....	36
4.2.2 Procesos metal-mecánicos.....	37
4.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	40
4.4 GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA NUEVA LÍNEA DE NEGOCIO	44
4.4.1 Lema.....	44
4.4.2 Misión.....	44
4.4.3 Visión.....	44
4.4.4 Perfil del personal.....	44
5. CONCLUSIONES	47
6. RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de mecanismos de daño por área afectada	28
Tabla 2. Procedimiento para reparar conexiones.	38
Tabla 3. Herramientas, equipos e insumos para inspeccionar y reparar conexiones	41
Tabla 4. Especificaciones del workshop.	43
Tabla 5. Perfil específico del personal responsable del taller de reparaciones.	45

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas metodológicas del trabajo de grado.	24
Figura 2. Esquemas de los mecanismos de daño.	29
Figura 3. Esquema interno de la unión secuencial entre los tubulares	32
Figura 4. Nariz redondeada.....	28
Figura 5. Defecto tipo navaja	33
Figura 6. Canal al interior del tubular.....	30
Figura 7. Corte longitudinal del tubular.....	35
Figura 8. Parámetros de inspección de hilos externos	37

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Registro fotográfico de algunos daños mecánicos presentes en conexiones roscadas tubing inspeccionadas en Barrancabermeja.	53
ANEXO B. Tabla de dimensiones de profundidades permitidas en imperfecciones	57
ANEXO C. Procedimiento para evaluación de mecanismos de daño localizados visualmente en la rosca.	57
ANEXO D. Esquema de superficie proyectada sobre la conexión para verificar profundidad fuera del área Lc.	58
ANEXO E. Tabla de diámetros exteriores y tolerancias del coupling para tubing .	58
ANEXO F. Registro fotográfico de procedimientos para reparar daños mecánicos en las conexiones.	59
ANEXO G. Tabla de dimensión del área Lc y PTL para tubería de producción	60
ANEXO H. Tabla de dimensiones externas de la rosca para tubing.	61
ANEXO I. Daños mecánicos irreparables en conexiones roscadas tubing	62
ANEXO J. Cavidad en rosca redonda	63
ANEXO K. Diagrama de perfil general de la rosca redonda	63
ANEXO L. Foto de cómo puede quedar el interior del taller móvil.	64

ANEXO M. Foto representativa del trailer con el dispositivo de subir y bajar el contenedor.....64

ANEXO N. Diseño inicial del workshop.....65

GLOSARIO

ACOPLE (COUPLING): elemento de acero de forma cilíndrica utilizado para unir las tuberías de producción.

API: Instituto Americano del Petróleo, *American Petroleum Institute*.

CAJA (BOX): extremo de rosca interna de la tubería.

CALIBRACIÓN: proceso de comparación de los valores obtenidos mediante un instrumento de medición con la medida de un patrón de referencia.

CONEXIÓN 8RD-EU: conexión con rosca sinusoidal (redonda), ocho hilos por pulgada y *External Upset* (hombro).

CORROSIÓN: deterioro que sufren los metales cuando interactúan con el medio en que trabajan.

COUNTERBORE: diámetro interno del *coupling* antes de iniciar la rosca.

CRITERIOS: son pautas normativas lógicas que permiten tomar decisiones coherentes o emitir opiniones razonadas

DAÑO MECÁNICO: todo defecto que interrumpe la continuidad del tubular, afectando el comportamiento mecánico de la pieza.

DEFECTOS: discontinuidad que por su naturaleza, tamaño o efecto no es permitido por un criterio de aceptación

DISCONTINUIDAD: cualquier variación local de la continuidad o configuración física normal de un material.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END): es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

EQUIPO: conjunto de accesorios útiles que operan para un servicio o trabajo determinado. Por ejemplo, el torno es un equipo que se usa para mecanizar.

EROSIÓN: desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo debido a la fricción.

ESPESOR DE PARED NOMINAL: designación numérica del espesor de pared del cuerpo del tubular, que es un número convenientemente redondeado, aproximadamente igual a la dimensión de fabricación.

ESPIGA (PIN): extremo de rosca externa de la tubería.

FALLAS: es una condición no deseada que hace que un elemento no desempeñe una función para la cual existe.

FRICCIÓN: fuerza que se opone al movimiento entre dos superficies de contacto.

GRADOS DE LA TUBERÍA: se define como la simbología utilizada para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de la tubería.

HERRAMIENTA: instrumento, generalmente de hierro o acero, que sirve para hacer o reparar algo. Por ejemplo, el pie de rey es una herramienta hecha para medir longitudes.

INSIDE DIAMETER (ID): diámetro Interno de la tubería.

INSPECCIÓN: método por el cual se determina varias características de un elemento usando varias herramientas.

JSA: análisis de seguridad en el trabajo.

LC: longitud de rosca completa en el lado de la espiga (PIN), ver anexo D.

LINE PIPE: tubería de línea utilizada en superficie para transportar hidrocarburos.

NARIZ REDONDA: guía que facilita el inicio de enroscado y mitiga que no se vaya a sobreponer una rosca con otra.

OCTG: es la abreviatura inglesa para hablar de los productos tubulares de uso petrolero (*Oil Country Tubular Goods*).

OUTSIDE DIAMETER (OD): diámetro externo de la tubería.

PASO (LEAD): la distancia paralela al eje de las roscas desde un punto en una rosca, al punto correspondiente en la siguiente rosca

POZO PETROLERO: perforación realizada en el suelo con la finalidad de extraer Hidrocarburos.

PTL: longitud de roscas completas en el acople de la caja (*Box*).

RACKS: estructuras utilizadas para dar soporte a los tubulares, facilitando su manipulación al momento de inspeccionar y reparar.

REFRENTADO: operación realizada en el torno mediante la cual se mecaniza el extremo del tubular, en el plano perpendicular al eje de giro.

ROSCA REDONDA API: el perfil de la rosca tiene hilos y raíces redondeadas con un ángulo de 30° con la vertical al eje de la tubería.

TUBERÍA DE PRODUCCIÓN (TUBING): elemento tubular utilizado para llevar a cabo los trabajos durante la operación de producción de pozos petroleros.

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ATS *AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S.* COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA ASESORANDO LA CREACIÓN DE LA LÍNEA DE NEGOCIO REGIONAL ENFOCADA EN PROCESOS DE REPARACIÓN DE SECCIONES TUBULARES EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA-SANTANDER*

AUTOR: MAYRA MARCELA REY HERNÁNDEZ**

PALABRAS CLAVES: conexiones roscadas, reparación, torno, *tubing*.

DESCRIPCIÓN:

Los pozos de extracción petrolera requieren para su construcción las sartas de perforación, y para asegurar su correcto funcionamiento es indispensable que todos los componentes se encuentren en buenas condiciones. Es así, como las conexiones de los tubulares juegan un papel importante en dicho proceso, pues de ellas depende que estos componentes se encuentren adecuadamente unidos en forma secuencial y permitan transportar los fluidos.

Dichas conexiones pueden presentar diferentes mecanismos de daño, como son los ocasionados por impactos, hilos entrecortados, *pitted threads*, corrosión, *galled threads*, marcas de herramientas y otros; siendo los Ensayos No Destructivos, la opción para detectarlos y evaluarlos oportunamente. Debido a que los daños se presentan con alta frecuencia, por costos de producción y facilidad algunos son reparados, requiriendo una vez más inspección para poder operar nuevamente. Por tal motivo, el presente proyecto se centró en la necesidad de la empresa ATS de obtener la información necesaria para la creación de un taller de reparación a conexiones roscadas tipo EU de *tubing* API con $2\frac{7}{8}$ pulg. y $3\frac{1}{2}$ pulg. de diámetro.

Como resultado de la presente práctica empresarial, para la reparación adecuada se definieron los procesos metal-mecánicos necesarios en el taller basados en mecanizado con torno petrolero convencional, *motortool*, disco blando y lijas, los cuales permiten la reparación adecuada por parte de personal calificado. Los procesos de reparación y verificación con Ensayos No Destructivos contemplados para la empresa se definieron siguiendo las normas API y los procedimientos ya existentes en ATS.

Finalmente, para incorporar una nueva línea de negocio en la empresa, se creó el lema, misión, visión, perfil del personal y diseño del taller móvil donde se prestará el servicio de reparación a tubulares por parte de ATS – American Tubular Services S.A.S.

*Proyecto de grado (Modalidad: Práctica empresarial)

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director: MSc. Carlos Andrés Galán Pinilla. Codirector: MSc. David Ernesto Martínez Páez

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE AT ATS AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. AS AN ENGINEERING ASSISTANT ADVISING THE CREATION OF THE REGIONAL FOCUSED BUSINESS LINE IN TUBULAR SECTION REPAIR PROCESSES IN THE BARRANCABERMEJA-SANTANDER MUNICIPALITY*

AUTHOR: MAYRA MARCELA REY HERNÁNDEZ**

KEY WORDS: threaded connections, repair, lathe, tubing.

DESCRIPTION:

Oil extraction wells require drilling strings for their construction, and to ensure their proper functioning it is essential that all components are in good condition. Thus, as the tubular connections play a important role in this process, it depends on them that these components are properly connected sequentially and allow fluids to be transported.

Such connections may present different mechanisms of damage, such as those caused by impacts, chopped threads, pitted threads, corrosion, galled threads, tool marks and others; being Non Destructive Tests, the option to detect and evaluate them in a timely manner. Because the damages occur with high frequency, due to production costs and ease, some are repaired requiring one more inspection to be able to operate again. For this reason, the present project focused on the need of the ATS company to obtain the necessary information for the creation of a repair shop for EU threaded connections of tubing API with $2\frac{7}{8}$ in. and $3\frac{1}{2}$ in. diameter.

As a result of this professional intership, the necessary metal-mechanical processes in the workshop were defined for proper repair based on machining with a conventional oil tanker lathe, motortool, soft discs and sandpapers, which allow the proper repair by qualified staff. The repair and verification processes with Non Destructive test provided for the company were defined according to the rules API and existing procedures in ATS.

Finally, to incorporate a new line of business in the company, the motto, mission, vision, staff profile and design of the mobile workshop were created where the repair service to tubulars will be provided by ATS - American Tubular Services S.A.S.

*Degree project (Modality: Business practice)

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and material science. Director: MSc. Carlos Andrés Galán Pinilla. Codirector: MSc. David Ernesto Martínez Páez

INTRODUCCIÓN

En Colombia durante los últimos años se ha tenido una gran dependencia económica de la producción petrolera y en la actualidad se cuenta con gran cantidad de pozos petroleros e infraestructura a lo largo del país, específicamente 22.857 pozos [1]. Para la operación de estos pozos de extracción de crudo, es indispensable y de vital importancia poseer tuberías en buen estado para desempeñar con calidad y seguridad las funciones de perforación, revestimiento y producción que requieren el transporte de diferentes fluidos [2].

Ahora bien, en dicha área industrial la tubería se expone a diferentes condiciones de operación dentro y fuera del pozo, con cargas significativas durante las operaciones, dentro de las cuales se encuentran: esfuerzos de presión interna y externa, carga axial, torsión, y manipulación, las cuales pueden llegar a afectar de forma directa las características físicas o diseño de la tubería. Lo anterior favorece la aparición de mecanismos de daño, hasta ocasionar fallas y retirada de tubería que deja de ser operativa [3,4].

Por otra parte, las tuberías y conexiones pueden presentar diferentes mecanismos de daño, como: golpes, grietas, corrosión localizada, desgaste, daños mecánicos por la llave u otro tipo de herramienta, erosión por fricción con la varilla o por sustancias del pozo, fractura de la conexión, mellada, torcedura, deformaciones

[1] PERILLA, Juan. El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia. En: Revista de Economía del Rosario. Bogotá D.C. 01, Junio, 2010. p. 75 -116.

[2] FERNÁNDEZ GARRIDO, Rolando. Perforación de pozos petroleros en tierra. La Habana: Científico-Técnica, 2016; p. 59-60.

[3] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. Segunda edición. Washington. API, 2011.

[4] DE LAMA GARCIA, Carlos. Inspección y reparación de tubería de perforación petrolera. Lima-Perú, 1989, 90p. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería mecánica.

permanentes, entre otros [5]. Dichos daños se presentan frecuentemente según reportes de la empresa y existe la posibilidad de realizar reparaciones con relativa facilidad [4].

El presente trabajo de grado se enfocó en las conexiones roscadas tipo EU de los tubulares de producción o *tubing* API, puesto que en el campo de perforación correspondiente a la empresa Ecopetrol S.A. al detectar mecanismos de daño en dicha tubería, toman la decisión de desecharlos y acumularlos en un depósito sin evaluar una posible forma de reparación para que estos ingresen nuevamente a servicio. Por esta razón, se evaluó la información y seleccionó las herramientas, equipos y recursos requeridos para crear a corto plazo un taller de reparaciones que conste de equipos de Ensayos No Destructivos y metal-mecánicos, los cuales permitan reparar los daños causados durante las operaciones a las conexiones roscadas tipo EU de *tubing* API con $2 \frac{7}{8}$ pulg. y $3 \frac{1}{2}$ pulg. de diámetro, lo anterior complementa los servicios prestados a la industria de hidrocarburos con servicios de reparación por parte de la empresa ATS.

[5] GÓMEZ HERRERA, Kevin. Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros. Ciudad de México, 2017,190p. Trabajo de grado (ingeniero petrolero). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[4] DE LAMA GARCIA, Carlos. Inspección y reparación de tubería de perforación petrolera. Lima-Perú, 1989, 90p. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería mecánica.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Apoyar el proceso de creación de la línea de negocio regional de la empresa *ATS American Tubular Services S.A.S* enfocada en procesos de reparación de secciones tubulares ubicada en el municipio de Barrancabermeja-Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los mecanismos de daño y afectaciones que pueden ser restauradas en las conexiones roscadas de tubulares de producción y determinar la forma como se van a reparar.
- Evaluar con base a normas y alcances los Ensayos No Destructivos y procesos metal-mecánicos que deben aplicarse para realizar adecuadamente reparaciones a las roscas de *tubing* con diámetros de $2\frac{7}{8}$ pulg. y $3\frac{1}{2}$ pulg.
- Crear lema y objetivos que envuelvan el propósito de la creación de la línea de reparaciones de tubulares en la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

Los tubos (tubulares) de acero forman una parte integral de cada etapa comprendida dentro de la industria del gas y del petróleo, desde la perforación y terminación de pozos de exploración y producción hasta el transporte a la refinería, por ello son fabricados en un amplio rango de materiales previamente probados para cumplir con las necesidades específicas de su aplicación en ambientes de alta complejidad [6].

Así, los tubulares son elementos cilíndricos, huecos, de geometría homogénea, compuestos generalmente de acero [5]. Son el conducto para transportar fluidos y para perforar pozos de petróleo y gas. Se clasifican por tamaño (diámetro interno y externo de la tubería y roscas de unión, peso; lbs/pie) y grado, tales como J-55, N-80, P-110, etc., que definen sus propiedades mecánicas [7].

Por las condiciones y ambientes de operación, durante servicio pueden aparecer diferentes mecanismos de daño. Siendo los Ensayos No Destructivos, END, una alternativa para detectar y evaluar oportunamente dichos daños evitando fallas y pérdidas [8]. Dichos END han demostrado alta confiabilidad y rentabilidad en todas las industrias. Siendo, de uso masivo en el sector petrolero las técnicas de VT, PT, MT, UT y RT [9, 10].

[6] TENARIS. La importancia de los tubos en la industria energética de hoy. Versión 1. Abril, 2013.

[5] GÓMEZ HERRERA, Kevin. Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros. Ciudad de México, 2017, 190p. Trabajo de grado (ingeniero petrolero). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[7] Tubería de Producción (TUBING). [En línea]. PerfoBlogger. 23 de Junio de 2015. Disponible en: (<http://perfob.blogspot.com/2015/06/tuberia-de-produccion-tubing.html>)

[8] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec Q1. Especificación para los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad para organizaciones de manufactura para la industria del petróleo y gas natural. Novena edición. Washington. API, 2013.

[9] MENDOZA, Edward; QUINTERO, Luz y SANTOS, Gerardo. Ensayos no destructivos como herramienta para el dimensionamiento de discontinuidades en la superficie externa de tuberías. [En línea]. [15 de Diciembre de 2010] disponible en: (<file:///C:/Users/PRINCIPAL/Downloads/Dialnet-EnsayosNoDestructivosComoHerramientaParaEIDimensio-6299818.pdf>)

[10] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Section V. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Nondestructive examination. Edición 2017. New York. ASME, 2017.

El presente proyecto se enfocó en la reparación de las conexiones roscadas tipo EU de los tubulares de producción o *tubing* API. En referencia a ello, la reparación de tubulares consiste en restablecer los elementos que presenten defectos reparables utilizando equipos de soldadura semiautomática, maquinaria de taller (tornos, esmeriles, etc.) o equipo hidráulico para enderezado de tubos, según sea requerido [4].

Sin embargo, debido que en la industria todo se rige y está verificado por códigos y normas, fue necesario basarse en las normas API RP 5B, 5B1 y 5A5. Las especificaciones y recomendaciones de la norma ANSI/API 5B [11] cubre dimensiones, tolerancias y requisitos de marcado para roscas API y los indicadores que controlan los criterios de aceptación para los hilos de rosca [12]. Adicionalmente, existen equipos y herramientas que también son implementados como instrumentos y métodos para la inspección de roscas en tuberías, destacándose el *thread gauge*; instrumento que permite determinar la excentricidad en la circunferencia de la rosca en *casing*, *buttruss casing*, *line pipe* y conexiones de *extreme line casing* [11].

La Norma API RP 5B1 [13] proporciona información útil de productos tubulares para campos petrolíferos (OCTG) y *line pipe*. Se limita a la inspección de tuberías de *casing*, *tubing* y conexiones de *line pipe*. Además, contiene técnicas básicas del uso de calibradores, que aplican para algunas roscas, para las cuales las especificaciones del elemento roscado son conocidas [14].

[4] DE LAMA GARCIA, Carlos. Inspección y reparación de tubería de perforación petrolera. Lima-Perú, 1989, 90p. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería mecánica.

[11] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5B. Specifications for threading, gauging and thread inspection of casing, tubing, and line pipe threads. Decimocuarta edición. Washington. API, 1996.

[12] Una breve introducción de API 5L, API 5B, API 5CT Y API 5D. [En línea]. World iron & steel. 06 de Marzo de 2018. Disponible en: (<http://es.worldironsteel.com/news/a-brief-introduction-of-api-5l-api-5b-api-5c13080365.html>)

[13] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5B1. Gauging and inspection of casing, tubing, and line pipe threads. Quinta edición. Washington. API, 1999.

[14] LEÓN CÁRDENAS, Estefanía. Descripción de la metodología para la aplicación de los Ensayos No Destructivos para la tubería usada en la fase de perforación y la fase de completación de la industria hidrocarburífera. Quito, 2016, 98p. Trabajo de grado (tecnólogo en petróleos). Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de ciencias de la ingeniería e industrias.

Finalmente, como recomendación práctica por el Instituto Americano de Petróleos, la norma API RP 5A5 [15] cubre la calificación del personal de inspección, descripción de los métodos de inspección y los procedimientos de calibración y estandarización de aparatos para varios métodos de inspección, incluyendo la evaluación de imperfecciones y marcado de OCTG inspeccionado [16].

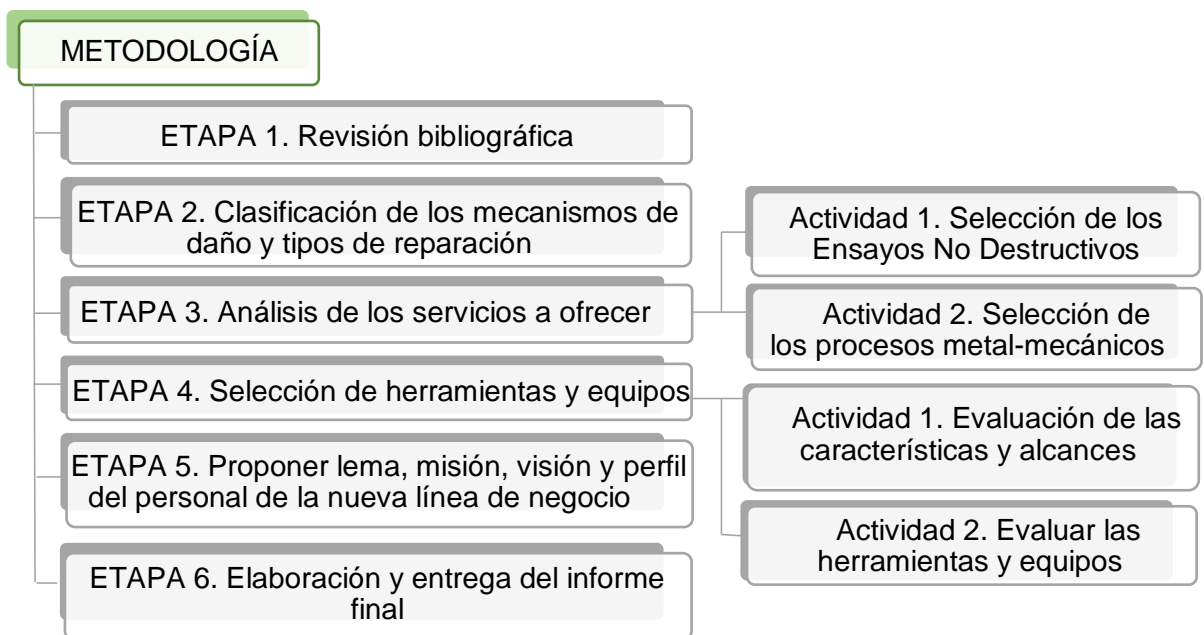
[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

[16] AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Criterios de aceptación y rechazo en inspección visual a conexiones buttress y EU, basado en API RP 5A5. Boletín técnico 010. Gerencia de calidad. ATS.

3. METODOLOGÍA

A continuación en la figura 1 se dan a conocer las etapas y actividades que se llevaron a cabo durante la práctica empresarial para su realización, posteriormente se detalla cada una de ellas.

Figura 1. Etapas metodológicas del trabajo de grado.



3.1 ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Para la realización del presente proyecto se revisó información relacionada con los tubulares, los daños asociados, los equipos, herramientas y procesos necesarios para su reparación en diferentes fuentes, como: libros, artículos científicos, normas y códigos de fabricación y reparación de tuberías, trabajos de grado relacionados, manuales y características de equipos de Ensayos No Destructivos y procesos metal-mecánicos, entre otros. Esta etapa se realizó durante todo el trabajo y en las referencias son presentados.

3.2 ETAPA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE DAÑO Y TIPOS DE REPARACIÓN.

La identificación de los posibles daños mecánicos que pueden presentar las conexiones roscadas se realizó con base en la información de la norma API RP 5B1 sección 5.1.7.1 [13], consultas realizadas a personal experto durante la práctica, el historial de daños y fallas registrado en ATS. Además, de las que se visualizan regularmente dentro de las actividades operativas de inspección electromagnética a la tubería de producción API en cabeza de pozo (*Wellhead*) llevadas a cabo por inspectores de la empresa ATS. Durante el desarrollo de la práctica empresarial se hicieron salidas de campo a pozos ubicados en Barrancabermeja. Así mismo, por medio de la norma API RP 5A5 sección 19.11 y 19.12 [15] se determinó el procedimiento para evaluar imperfecciones localizadas visualmente en el *coupling* y roscas, y la forma adecuada de reparar diferentes daños.

3.3 ETAPA 3. ANÁLISIS DE LOS SERVICIOS A OFRECER.

En esta etapa se llevaron a cabo dos actividades, en la primera se definieron los Ensayos No Destructivos requeridos y en la segunda se seleccionaron los procesos metal-mecánicos. A continuación se describe cada una de ellas:

3.3.1 Selección de los Ensayos No Destructivos. Se determinó a partir de las normas API RP 5B1 sección 5.1 [13] y API RP 5A5 sección 11 [15] los Ensayos No Destructivos, según sus alcances y daños a evaluar, que se deben practicar a los tubulares en servicio para definir si requieren y pueden ser reparados; posteriormente, se definieron los END a realizar después de reparados, para determinar si los tubulares pueden entrar nuevamente en servicio.

[13] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5B1. Gauging and inspection of casing, tubing, and line pipe threads. Quinta edición. Washington. API, 1999.

[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

3.3.2 Selección de los procesos metal-mecánicos. Con base en la información analizada se determinó cuáles y cómo serán llevados a cabo los procedimientos metal-mecánicos para corregir los mecanismos de daño que se presenten en las conexiones roscadas, logrando aumentar de manera rentable la vida útil de servicio.

3.4 ETAPA 4. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.

Una vez definida la finalidad de los servicios a prestar en el área de reparación, se realizaron dos actividades, en la primera se definieron las características y alcances de las herramientas y equipos requeridos, comparando marcas, rendimiento y costos, y en la segunda se seleccionaron los más adecuados para crear el taller móvil de reparaciones que ofrecerá un servicio audaz e innovador de acuerdo a las necesidades presentes en los pozos petroleros, a continuación se describe cada una de ellas.

3.4.1 Evaluación de las características y alcances. Se basó en consultas a personal experto en el sector de reparaciones a conexiones roscadas y análisis de fichas técnicas de herramientas y equipos utilizados a nivel industrial, lo anterior con el objetivo de realizar con calidad los servicios de inspección y reparación a las roscas de los tubulares.

3.4.2 Elegir las herramientas y equipos. Se recopiló información de las empresas proveedoras de maquinaria para industria del petróleo, metal-mecánica, y fabricantes de vehículos especiales; posteriormente, se entabló comunicación con las entidades para cotizar y realizar la selección de equipos y herramientas teniendo en cuenta costos y calidad.

3.5 ETAPA 5. PROPONER LEMA, MISIÓN, VISIÓN Y PERFIL DEL PERSONAL.

Con el fin de formalizar la línea de negocios requeridos por la empresa, se discutió la importancia de conocer dónde está y hacia dónde se dirige la empresa ATS, y

con ello se creó un lema, misión y visión que responden a preguntas como ¿Por qué queremos crear este negocio? ¿Qué es lo que queremos ofrecer?, entre otras que nos dan enfoque a lograr el objetivo. Por otra parte, se definió el perfil del personal necesario para realizar cada una de las actividades requeridas en la nueva seccional de reparación.

3.6 ETAPA 6. ELABORACIÓN Y ENTREGA DEL INFORME FINAL

Una vez cumplidas las anteriores etapas se redactó y se elaboró el informe final, el cual abarca la compilación de los recursos necesarios para crear a corto plazo el taller de reparaciones que complementará los servicios ofrecidos por la empresa ATS.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados obtenidos al efectuar la metodología planteada.

4.1 MECANISMOS DE DAÑO Y TIPOS DE REPARACIÓN

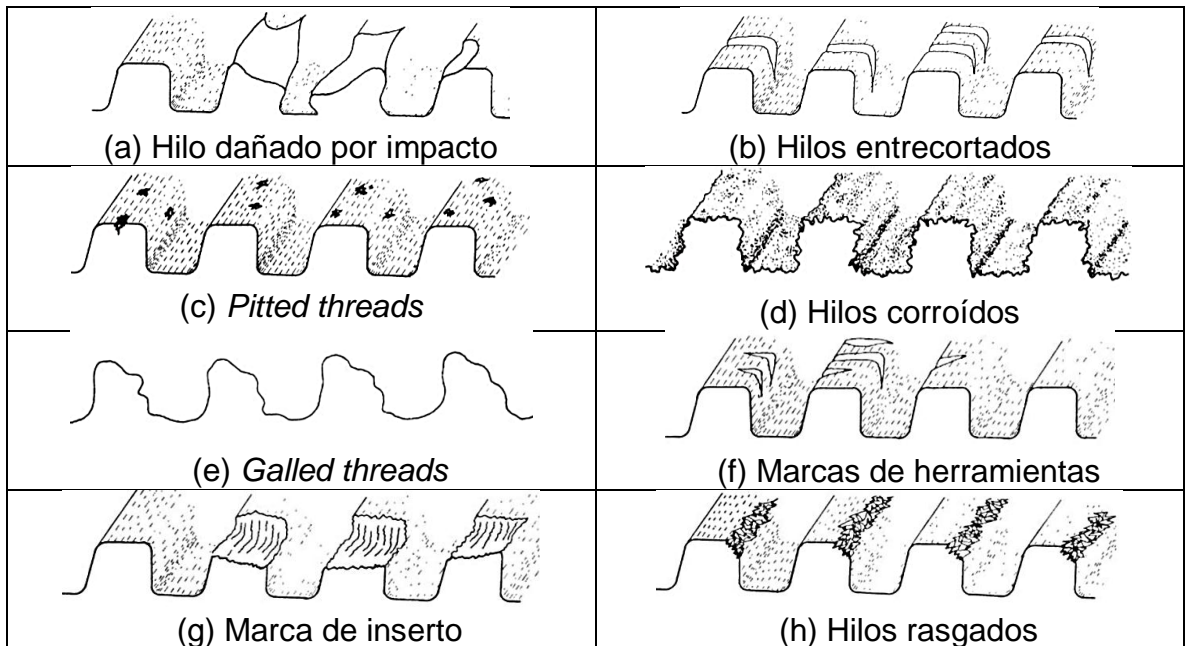
En la tabla 1 se presentan los mecanismos de daño que se pueden presentar durante fabricación y servicio de tubulares, los cuales se clasificaron según el área afectada. El registro fotográfico y la descripción de algunos daños, es presentado en el anexo A. Los daños reparables se especifican en la sección 4.1.3 del presente documento con base en los criterios de aceptación y rechazo.

Tabla 1. Clasificación de mecanismos de daño por área afectada

Clasificación de mecanismos de daño por área afectada			
Nariz redonda o de bala	Extremo de la tubería (interior y exterior)	Box y counterbore	Área roscada
<ul style="list-style-type: none"> -Transición del radio no suave - Esquinas filosas. - Rebabas - Astillas - Hilo de inicio falso - Aplastado - Cortes 	<ul style="list-style-type: none"> -Rebabas - Aletas - Abolladuras / aplastado 	<ul style="list-style-type: none"> -Marcas de herramientas - Aplastado - Rebabas - Quemaduras por arco (<i>galling</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Forma de hilo incorrecta - Altura de hilo incorrecta - Hilos gruesos - Hilos estrechos -Hilo dañado por impacto - Hilos entrecortados - <i>Pitted threads</i> - Hilos corroídos - <i>Galled threads</i> - Marcas de herramientas - Marca de inserto - Hilos rasgados - Hombro o escalones - Ovalidad - Hilos sin cresta completa

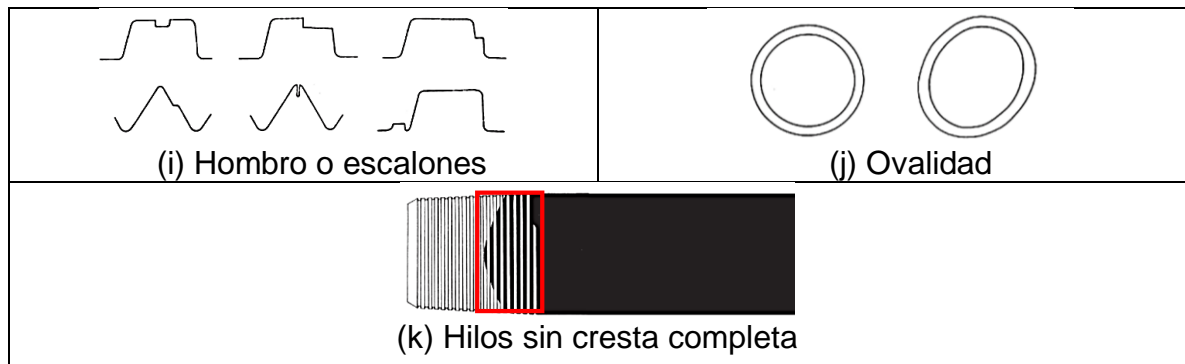
Con base en la información analizada se determinaron los daños más críticos y frecuentes presentados en el área roscada de los tubulares de la refinera de Barrancabermeja, siendo daños por impacto (figura 2a), hilos entrecortados (figura 2b), *pitted threads* (figura 2c), corrosión (figura 2d), *galled threads* (figura 2e), marcas de herramientas (figura 2f), marca de inserto durante fabricación (figura 2g), hilos rasgados (figura 2h), hombro o escalones (figura 2i), Ovalidad (figura 2j) e hilos sin cresta completa (figura 2k). El proceso de clasificación de los mecanismos de daño fue complejo, debido a los detalles y características que se deben visualizar en las roscas. Por lo anterior, en el presente trabajo se exponen los esquemas que muestran las características de los daños más comunes, presentados en la figura 2. Seguidamente se muestra el procedimiento con los criterios de evaluación que definen si pueden o no seguir operando o si pueden ser reparados dichos daños.

Figura 2. Esquemas de los mecanismos de daño.



Continuación...

Continuación...



Fuente: ATS-American Tubular Services S.A.S. Criterios de aceptación y rechazo en inspección visual a conexiones *buttress* y EU, basado en API RP 5A5. Boletín técnico 010. Gerencia de calidad.

El procedimiento para aceptar o rechazar la presencia de los mecanismos de daño en una conexión roscada se basa en el área crítica de alojamiento, como: la rosca perfecta Lc (longitud de rosca completa en la conexión), rosca perfecta PTL (longitud de rosca completa en el acople), cantidad de hilos afectados, nariz redonda, imperfecciones en la cara del *box* y *Counterbore* [16].

4.1.1 Procedimiento para evaluación de mecanismos de daño en la superficie exterior del *coupling*. Para realizar la inspección del *coupling*, figura 9 del anexo A, se sigue la norma API RP 5A5 sección 19.11 [15], donde hoyos (*pits*), figura 8 del anexo A, ranura de fondo redondo, marcas de agarre, ranuras de fondo afilado e imperfecciones similares no se consideran defectos a menos que su profundidad exceda las dimensiones presentes en la tabla A.15 [15], la cual se adjunta en el anexo B.

[16] AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Criterios de aceptación y rechazo en inspección visual a conexiones *buttress* y EU, basado en API RP 5A5. Boletín técnico 010. Gerencia de calidad. ATS.

[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

Por otra parte, dentro del grupo 1 estandarizado por la industria petrolera teniendo en cuenta las características similares en cuanto composición química y mecánica de los materiales, y obedeciendo en su diseño: la resistencia a la tensión, torsión y compresión, correspondientes al grado J-55 de la tubería de producción (*Tubing*), inspeccionada habitualmente por la empresa ATS, donde los *coupling* terminados deben estar libres de costuras visibles, grietas y porosidades, ver figura 11 del anexo A.

4.1.2 Procedimiento para evaluación de mecanismos de daño localizados visualmente en la rosca. Los golpes e irregularidades en la superficie de los hilos son complejos de evaluar, debido a la dificultad para definir el grado en que afectan el servicio de la rosca, por ello, se sigue la norma API RP 5A5, sección 19.12 [15], que establece los criterios de rechazo para cada una de las áreas más relevantes de la rosca, y siguiendo el procedimiento elaborado en el presente trabajo, presentado en el anexo C. A continuación se detallan los criterios de aceptación y rechazo de la rosca.

4.1.2.1 Criterios de rechazo en el área Lc (ver anexo D)(Sección 19.12.3 [15]). Los hilos deben estar libres de cualquier imperfección visible como protuberancias o marcas en las superficies de acople, no deben romper su continuidad y todos deben tener cresta completa o de lo contrario son rechazables.

4.1.2.2 Criterios de rechazo fuera del área Lc (ver anexo D)(Sección 19.12.2 [15]). Son rechazables las protuberancias detectables en los hilos o marcas en la superficie de acople, picaduras, costuras, traslapes o cortes si penetran a través de la raíz de la rosca o si exceden del 12,5% del espesor de pared nominal del cuerpo del tubo siendo medida el área Lc desde la superficie proyectada por medio de la regla de 12 pulg. al ser situada en el diámetro externo de la tubería, ver anexo D. El

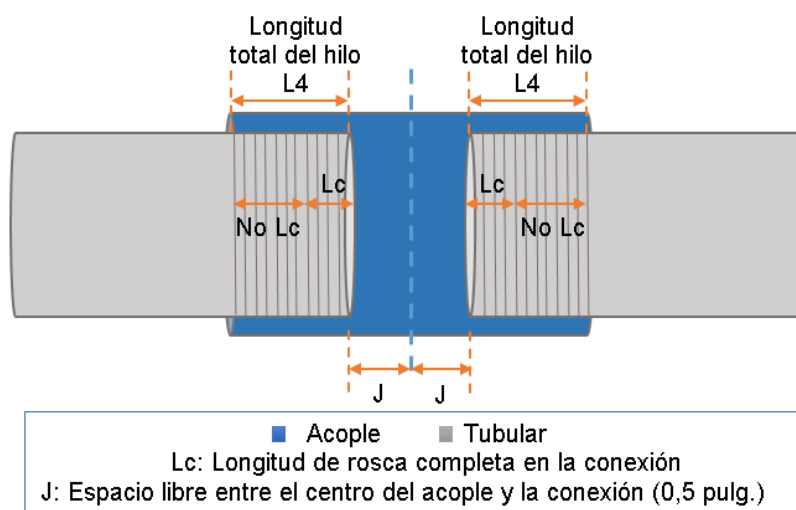
[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

espesor será medido por medio de un instrumento llamado *pit gage*, que lleva consigo una punta aguda para hacer contacto con superficies que presentan orificios pequeños, permitiendo obtener lecturas, así, dicho espesor del daño será comparado porcentualmente con el espesor nominal del cuerpo del tubular, donde al superar el 12.5% se rechazará.

4.1.2.3 Criterios de rechazo para el área PTL de la caja o las roscas de acople (Sección 19.12.8 [15]). Aplican las mismas referencias de rechazo del área Lc, numeral 4.1.2.1.

4.1.2.4 Criterios de rechazo para las roscas más allá del área PTL de la caja o las roscas de acople (Sección 19.12.9 [15]). Son motivo de rechazo las roscas que no se extienden hasta el centro del acoplamiento, o hasta una distancia de longitud total del hilo (L4) más 0,500 pulg. “J” desde la cara del acople de una junta integral, ver figura 3. Por otra parte, los hilos que se encuentran más allá del área PTL no necesitan ser de cresta completa.

Figura 3. Esquema interno de la unión secuencial entre los tubulares



[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

4.1.2.5 Criterio de rechazo para el área nariz (Sección 19.12.6 [15]). En la figura 4 se presenta la causa de rechazo por pérdida de nariz redonda en los 360° del perímetro del extremo y en la figura 5 se presenta el daño correspondiente a los extremos con esquinas afiladas (filo de navaja) o cambios bruscos de radio [15].

Figura 4. Nariz redondeada

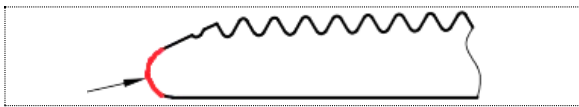
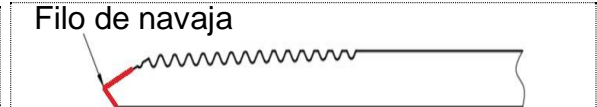


Figura 5. Defecto tipo navaja



Fuente: *American Petroleum Institute (API). (2005). Práctica recomendada ANSI/API 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición.*

Con base en esta información, se seleccionaron las posibles formas de reparar dichos daños teniendo en cuenta los mecanismos de daño comunes encontrados en la presente práctica, los cuales se describen a continuación.

4.1.3 Tipos de reparación. En el *coupling* todos los defectos o imperfecciones pueden eliminarse o reducirse a límites aceptables mediante mecanizado o rectificado en la superficie exterior, siempre que la dimensión del diámetro esté dentro de las tolerancias especificadas en la tabla A.18 de la norma API RP 5A5 (ver anexo E) [15]. Ahora bien, si se presenta un daño mecánico como golpe en el *coupling* y corrosión, figuras 9 y 12 del anexo A respectivamente, la solución adecuada es separar el *coupling* del tubular y reemplazarlo por uno nuevo u otro que se encuentre en buen estado y cumpla con las especificaciones requeridas, siendo esta última solución la más utilizada en la industria debido a que requiere menor tiempo de reparación.

[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

Por otra parte, las grietas encontradas en la conexión deberán ser motivo de rechazo y el inspector no deberá esmerilar estas grietas para tratar de borrarlas [17]. Así, teniendo en cuenta los criterios de rechazo expuestos en los ítems 4.1.1 y 4.1.2, serán eliminados los daños leves que no excedan las dimensiones allí especificadas con ayuda de lijas para *motortool* y discos blandos, ver figuras 1 y 2 del anexo F.

Además, daños por impacto, hilos entrecortados, marcas de herramientas, marca de inserto, hombro o escalones, hilos sin cresta completa, corrosión y daños como se aprecia en las figuras 1 a 6 del anexo A, serán reparados puliendo y mecanizando nuevamente el perfil de rosca, ver figura 4 del anexo F, con un torno petrolero convencional si los daños no llegan a la base del hilo. Si los daños llegan a la base, serán reparados realizando corte a la conexión (mínimo $\frac{3}{8}$ pulg.) por medio de insertos [18], ver figura 3 del anexo F, eliminando la mayor sección que se encuentre afectada siempre y cuando siga cumpliendo con las especificaciones dimensionales planteadas en el anexo G y anexo H. Posteriormente, se rectificará por completo la rosca para entrar nuevamente en servicio, ver figura 6 del anexo F.

Los daños mecánicos que puede llegar a presentar la nariz redonda no son comunes, pero si se presentan, serán reparados por medio de refrentado con un inserto especial [18], ver figura 5 del anexo F, para mecanizar el extremo de la conexión y lograr un acabado de calidad.

[17] ACOSTA, Wilian y SALAZAR, Edwin. Optimización de procedimientos de inspección para tubería de perforación (Drill Pipe), tubería de producción (Tubing) y tubería de revestimiento (Casing) de pozos petroleros utilizando Ensayos No Destructivos. Quito, 2007, 259p. Trabajo de investigación (ingeniero mecánico).Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería mecánica.

[18] GIANNETTI, Enrico R. Turning & Boring: Cutting Tools & Inserts For CNC and Manual Lathes. East Bernard: Dorian Tool International, 2010. 116p.

Así mismo, existen daños críticos como el presente en la figura 6, el cual corresponde a un canal provocado por el movimiento de la varilla petrolera que afecta completamente el tubular, generando desgaste interno que conlleva a daños irreparables como lo es un corte longitudinal, ver figura 7.

Figura 6. Canal al interior del tubular



Figura 7. Corte longitudinal del tubular



Finalmente, existen otros tipos de daño como desgaste de pared, ver figura 2 del anexo I y corrosión severa, ver figuras 1 y 3 del anexo I, los cuales son irreparables debido a la magnitud del defecto, por lo cual deberá ser rechazado y reemplazado el tubular. Finalmente, cualquier duda de alguna indicación encontrada se deberá limpiar nuevamente con un disco blando no metálico y realizar por segunda vez la inspección, si la indicación aparece, la conexión deberá ser rechazada [17].

4.2 SERVICIOS A OFRECER.

Con base en la necesidad de la empresa de crear la línea de negocio se detallan a continuación los servicios a ofrecer.

[17] ACOSTA, Wilian y SALAZAR, Edwin. Optimización de procedimientos de inspección para tubería de perforación (Drill Pipe), tubería de producción (Tubing) y tubería de revestimiento (Casing) de pozos petroleros utilizando Ensayos No Destructivos. Quito, 2007, 259p. Trabajo de investigación (ingeniero mecánico).Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería mecánica.

4.2.1 Ensayos No Destructivos. Inicialmente los inspectores de la empresa ATS realizarán inspección electromagnética a la tubería de producción (*Tubing*) API en cabeza de pozo (*Wellhead*) para detectar daños mecánicos longitudinales y transversales por medio de inducción de un campo magnético circular, evaluando consigo espesores de pared, fracturas, huecos y pérdida de material en la tubería [19], luego se llevará a cabo los Ensayos No Destructivos de inspección visual (VT) con verificación dimensional, donde se requerirá la norma API RP 5A5 sección 11.13 [15] para detectar imperfecciones en las roscas redondas correspondientes a daños mecánicos o defectos de fabricación que sean visualmente evidentes.

El procedimiento adecuado para la inspección (sección 11.13.4) [15] consta inicialmente en quitar los protectores de rosca, limpiar completamente todas las roscas con base al procedimiento GO-D025 ya establecido en ATS [20], determinar la longitud del área Lc y verificar la medida respecto a la tabla A.9 de la norma API RP 5A5 (ver anexo G) [15].

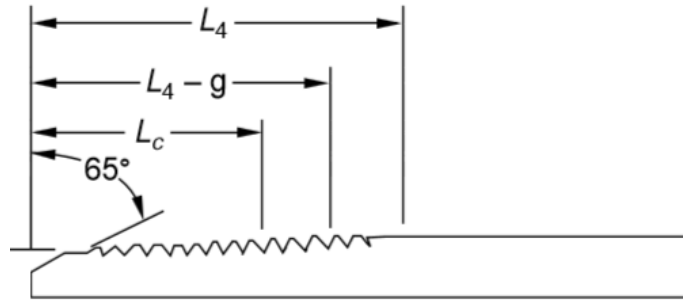
En la parte exterior de la rosca se debe inspeccionar la cara, nariz redonda, área Lc y no Lc, ver figura 8, y al interior de la rosca se debe inspeccionar el *counterbore*, PTL y área más allá del PTL, realizando finalmente inspección dimensional con ayuda del *profile gauge* para detectar errores de mecanizado.

[19] AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Inspección Wellhead. Segunda versión. Bogotá. ATS, 2016.

[15] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

[20] AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Limpieza de tuberías y herramientas. Primera versión. Bogotá. ATS, 2013.

Figura 8. Parámetros de inspección de hilos externos (ver anexo H)



Fuente. *American Petroleum Institute (API)*. (1999). *API Spec 5B1. Gauging and inspection of casing, tubing, and line pipe threads*. Quinta edición.

La conexión 8RD-EU cuenta con un diseño geométrico redondo respectivamente haciendo que el sello esté directamente relacionado con la forma de la rosca creando un espacio de interferencia entre sí para mejorar la distribución de cargas y enrosque reduciendo la tendencia al *galling* y mejorando la resistencia a la abrasión de acuerdo a la distribución adecuada de grasa, ver anexo J [16].

4.2.2 Procesos metal-mecánicos. El proceso metal-mecánico consistirá en realizar mecanizado empleando un torno, en el cual se tendrán presentes las dimensiones externas de la rosca tipo EU para *tubing* descritas en el anexo H, el diagrama de perfil general de una rosca redonda, especificados en el anexo K y el procedimiento planteado en la tabla 2, en la cual se incluye un flujograma con los pasos a seguir durante la procedimiento, siendo estos descritos detalladamente junto al encargado y los recursos como herramientas, insumos y documentación interna de la empresa, para así obtener como resultado una conexión en buen estado que sea apta para prestar servicio, ver figura 6 del anexo F.

[16] AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Criterios de aceptación y rechazo en inspección visual a conexiones buttress y EU, basado en API RP 5A5. Boletín técnico 010. Gerencia de calidad. ATS.

Tabla 2. Procedimiento para reparar conexiones.

PROCEDIMIENTO REPARACIÓN DE CONEXIONES			
Diagrama de flujo	Descripción	Responsable	Recursos
<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> B1[1. Cliente solicita reparación] B1 --> B2[2. Verificar reporte de inspección] B2 --> D1{¿La conexión es tipo EU 8RD de tubing API?} D1 -- NO --> FIN([FIN]) D1 -- SI --> D2{¿El defecto es reparable?} D2 -- NO --> FIN D2 -- SI --> B3[3. Evaluar y registrar la información] B3 --> B4[4. Acordar reparación con cliente] B4 --> D3{¿Se reportó defecto en la caja?} D3 -- NO --> B6[6. Limpiar las conexiones] D3 -- SI --> B5[5. Remover acople] B5 --> B6 B6 --> B7[1] </pre>	<ol style="list-style-type: none"> Solicitud del cliente para reparación a tubulares ya inspeccionados Constatar que el defecto a reparar en el tubular fue reportado correctamente (serial, banda de pintura, observaciones) Registrar la información relacionada con el cliente y el tubular a reparar (OD's) Verificar que el taller móvil cumpla con los requisitos para reparar dichos tubulares y así acordar lugar, fecha y hora de reparación. Solicitar remoción de acople con ayuda de quita <i>coupling</i> a las conexiones reportadas con defectos en el área del <i>box</i> Lavar la conexión para constatar defectos y observar otros defectos no reportados. 	<p>Tornero / Auxiliar</p> <p>Tornero / Auxiliar</p> <p>Auxiliar de inspección</p>	<p>ISO</p> <p>Reporte de inspección</p> <p>Reporte de reparación de conexiones</p> <p>Tela oleofílica Desengrasante Cepillo fuller</p>

Continuación...

...Continuación

PROCEDIMIENTO REPARACIÓN DE CONEXIONES			
Diagrama de flujo	Descripción	Responsable	Recursos
<pre> graph TD Start([2]) --> Decision{¿ El defecto Continúa ?} Decision -- SI --> Retomar[Retomar el ítem 11] Retomar --> Start Decision -- NO --> Step13[13. Remover la junta del torno] Step13 --> Step14[14. Reporte de reparación] Step14 --> End([FIN]) </pre>	<p>11. Disponer de todo lo necesario para elaborar la conexión nueva</p> <p>12. Verificar que el defecto fue eliminado y que las medidas están dentro de la tolerancia dimensional</p> <p>13. Remover residuos de material, instalar protector limpio y ubicar tubular en los racks</p> <p>14. Comprobar que la información del formato está totalmente diligenciada</p>	<p>Tornero</p> <p>Tornero Inspector nivel II</p> <p>Tornero Auxiliar</p> <p>Tornero</p>	<p>Torno y accesorios</p> <p>Soplador Protector de tubería Grasa de almacenamiento</p> <p>Reporte ATS GO-FR192</p>

4.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Con base en la información analizada se plantean las herramientas seleccionadas para evaluar la magnitud de las imperfecciones encontradas en las conexiones roscadas. A continuación, en la tabla 3 se presentan los costos de los equipos, herramientas e insumos, sin los impuestos, importación, envíos e inflación en Colombia.

Tabla 3. Herramientas, equipos e insumos para inspeccionar y reparar conexiones

Herramienta	Uso	Precio
Regla 12 pulg.	Determinar con precisión el área Lc (longitud rosca perfecta).	Marca Starrett \$181.500
Espejo	Examinar zonas cercanas al punto de trabajo que no son accesibles directamente como la Inspección de flancos de carga y raíces de las roscas internas.	Marca Stanley \$28.900
Linterna	Verificar superficies donde no exista luz directa, cumpliendo los requisitos de iluminación de luz mínima 1000 lx para inspección de roscas internas.	\$27.000
<i>Profile gauge</i> o medidor de perfil	Detectar errores de perfil del hilo.	Marca Gagemaker MXN \$173.75
<i>Pit gage</i>	Determinar las profundidades del daño	Marca Starrett \$1.346.400
<i>Lead gage</i> o medidor de paso	Verificar el error de paso en las roscas.	Marca Gagemaker MXN \$988.75
Compás de OD e ID	Compás exterior e interior, diseñados para tomar medidas de transferencia o para la comparación de mediciones internas.	Marca Starrett \$264.000 OD \$231.000 ID
Pie de rey	Medidor de longitud que dispone de dos puntas para el control de las mediciones interiores y exteriores de los tubulares	Marca Stanley \$96.000
Torno petrolero convencional	Herramienta industrial que permite mecanizar nuevamente las roscas haciendo girar el tubular.	Marca YANCHENG \$110.000.000
Insertos para corte y rectificado de rosca (figuras 3, 4 y 5 del anexo F)	Herramientas de corte y rectificado que son instaladas en el torno y empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la conexión, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones de mecanizado establecidas.	Marca LAYDOWN \$104.000 c/u
Bomba hidráulica	Añade energía al sistema conformado por 3 gatos hidráulicos y 3 rodillos, facilitando el ingreso de los tubulares al torno.	Marca Mophorn \$1.817.000
Gato hidráulico doble efecto	Empleado para dar soporte a los rodillos y consigo a los tubulares permitiendo el ingreso al torno para repararlos	\$1.700.000 c/u

Continuación...

...Continuación

Rodillos	Ubicados sobre los gatos hidráulicos y accionados con la bomba hidráulica. Dos permitirán el rodamiento de los tubulares hacia el torno y uno dará soporte al final del tubular mientras gira al ser maquinado.	\$300.000 c/u incluyendo chumacera y base
Comparador de carátula	Útil para centrar el tubular después de ser ubicado en el torno.	Marca Mitutoyo \$380.000
<i>Motortool</i> –disco blando (fig. 2 anexo F)	Sirve para limpiar completamente todas las roscas, retirando los excedentes o rebabas de los hilos de la conexión, dejando las raíces pulidas y brillantes, garantizando no afectar la calidad de la conexión.	<i>Motortool</i> marca Dewalt \$618.000
Lijas para <i>motortool</i> (fig. 1 anexo F)	Útil para lijar con precaución las conexiones, eliminando defectos mínimos y rebabas de metal	Marca Dremel grano 120 \$35.500 c/u
Sopladora	Remueve los residuos de material presente después de ser mecanizada la conexión	Marca Dewalt \$380.000
Pulidora	Eliminar suciedad, pintura, cascarilla, óxido y cualquier material extraño que se encuentre en el tubular.	Marca Dewalt \$320.000
Marcador industrial	Se utiliza para realizar anotaciones en el cuerpo del tubular y señalar el lugar específico donde se encuentra el daño mecánico que será rechazado o posteriormente reparado.	Marca Dalo \$30.000
Tela oleofílica	Se utiliza al momento de realizar la limpieza de las conexiones con el fin de absorber los fluidos de petróleo.	Rollo 76.2 cm x 45.8 Metros \$373.000
Brocha y pinturas	Sirven para demarcar los extremos del tubular con códigos de colores establecidos después de realizar la inspección.	Marca Pintuco \$40.000 (1 galón)
Grasa de almacenamiento	Se aplica a la conexión después de ser inspeccionada, reparada y limpiada, con el fin de protegerla.	Marca Parko \$30.000 (1Kg)

Así mismo, al ser el taller de reparaciones móvil, se determinó el vehículo requerido, el cual debe contener en su interior cada una de las herramientas, equipos e insumos mencionados anteriormente. El *workshop* cumplirá con las especificaciones de calidad de un *machine shop* planteada en la norma API Spec.

Q1 [21] y constará de un contenedor de 40 ft y un trailer freightliner Cascadia de tres ejes con dispositivo "sidelifter" para subir y bajar el contenedor. El tracto camión constará de cabina amplia para que puedan viajar los auxiliares e inspectores junto al conductor, disponiendo en el taller una oficina y un baño.

Las dimensiones, especificaciones y precios son planteados en la tabla 4 de acuerdo a la información suministrada por la empresa Servibus(ver anexos L,M,N)

Tabla 4. Especificaciones del *workshop*.

Especificaciones <i>Workshop</i>		
Sección	Especificación	Precio
Tracto camión	Freightliner Cascadia, 20000 km, año 2019	\$ 450.000.000
Trailer	Trailer de tres ejes con dispositivo <i>sidelifter</i>	\$249.500.000
Contenedor	Contenedor de 40 ft	\$40.000.000
Aire acondicionado	Tres aires acondicionados de techo	\$198.000.000
Planta eléctrica	Potencia 15 KVA	\$ 7.000.000
Otros	Sillas, escritorios, impresora, computadores, entre otros.	\$34.000.000
Taller	Dimensiones: 6.5 m largo x 2.3 m ancho x 2.4 m altura	---
Oficina	Dimensiones: 2.68 m largo x 2.3 m ancho y 2.4 m altura	---
Área planta eléctrica con sus respectivas separaciones y aislamientos de calor y ruido	Dimensiones: 0.8 m largo x 2.3 m ancho x 2.4 m altura	---

La inversión requerida para llevar a cabo la creación de la línea de negocio será alrededor de COP\$1.100.000.000.

[21] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec Q1. Especificación para los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad para organizaciones de manufactura para la industria del petróleo y gas natural. Novena edición. Washington. API, 2013.

4.4 GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA NUEVA LÍNEA DE NEGOCIO.

La empresa ATS inició operaciones en el año 2013, prestando servicios de Inspección con pruebas no destructivas, aplicadas en *casing, tubing, pipeline, drill pipe*, BHA, varillas de Bombeo y equipos de levante; en la actualidad cuenta con nueve seccionales y al abrir esta nueva línea de negocio se formaliza con un lema, misión y visión la cual se presenta a continuación.

4.4.1 Lema. Si buscas calidad, reparar y optimizar ¡En ATS ello encontrarás!

4.4.2 Misión. La sección de reparación de ATS-American Tubular Services SAS presta sus servicios de inspección no destructiva y reparación de tubulares a la industria de hidrocarburos, permitiendo una segunda oportunidad de uso a los tubulares considerados como rechazados, apoyados en la innovación con principios ingenieriles, estándares de calidad, equipos y personal calificado, promoviendo al interior de la empresa un entorno laboral productivo, de compromiso y pertenencia para cumplir las expectativas y necesidades de nuestros clientes.

4.4.3 Visión. En el año 2040 seremos una empresa líder en Colombia, reconocida por la calidad y cumplimiento en reparación y entrega de tubulares, orientada a brindar soluciones inmediatas a mecanismos de daño causados en campo, aportando un valor agregado a nuestros servicios gracias a la facilidad de movilización del taller, promoviendo el trabajo en equipo, el mejoramiento continuo y el bienestar de nuestros clientes internos y externos.

4.4.4 Perfil del personal. Para garantizar la óptima ejecución de los procesos, es indispensable contar con personal capacitado y comprometido con la misión y visión de la nueva seccional de reparaciones, por ello, el departamento de recursos humanos (RRHH) responsable del proceso de selección del personal se centrará en el perfil del personal plasmado en la tabla 5.

Tabla 5. Perfil específico del personal responsable del taller de reparaciones.

Perfil específico personal responsable del taller de reparaciones		
Cargo	Función	Educación y experiencia
Auxiliar de inspección	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apoyar las actividades de limpieza, inspección, maquinado y reparación de conexiones. ✓ Participar en la identificación de peligros, análisis de riesgos y controles para mitigar o eliminar los riesgos asociados a las tareas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnico en inspección y ensayos con procesos no destructivos. ✓ Mínimo 6 meses de experiencia en cargos similares.
Inspector nivel II	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Liderar el grupo de trabajo a cargo de la Inspección visual o dimensional. ✓ Identificar, evaluar-rechazar, verificar y reportar el estado de los tubulares. ✓ Apoyar al tornero si es requerido. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnico, tecnólogo o profesional con cursos de capacitación aprobados, entrenamiento y certificación como inspector nivel I y nivel II en inspección visual (VT). ✓ Mínimo 1 año de experiencia.
Tornero	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar actividades de operación de maquinado a conexiones. ✓ Registrar y analizar la identificación de peligros y valoración de riesgos. ✓ Diligenciar, divulgar y firmar como ejecutor el permiso de trabajo de las actividades a realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnico o profesional en mecánica industrial. ✓ Mínimo 18 meses de experiencia en funciones acordes al cargo, específicamente en manejo de torno convencional petrolífero.

Continuación...

...Continuación

<p style="text-align: center;">Operador tracto camión</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conducir el tracto camión hacia el lugar donde se prestará el servicio y ubicar el contenedor frente a los tubulares. ✓ Velar por el cuidado del vehículo y la carga. ✓ Registrar y analizar la identificación de peligros y valoración de los riesgos. ✓ Diligenciar antes de cada servicio el formato de inspección pre operacional y mantener registro del estado del vehículo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bachiller con experiencia mínima y reciente de 2 años en manejo de tracto camión. ✓ Licencia C3. ✓ Curso, capacitación y/o certificación en manejo seguro para operadores de tracto camión.
<p style="text-align: center;">Coordinador de operaciones /supervisor de operaciones/ administrador de contrato</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar, verificar y/o modificar los controles requeridos para minimizar la exposición a los peligros identificados en los JSA y los propios de la operación. ✓ Asegurar que las actividades sean llevadas a cabo de conformidad con lo descrito en el instructivo. ✓ Supervisar el correcto diligenciamiento, divulgación y firmar como emisor el permiso de trabajo de las actividades a realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Profesional con conocimiento en el área de operación y permisos para mecanizado en torno. ✓ Mínimo 2 años de experiencia liderando personal y actividades del sector petrolífero.

5. CONCLUSIONES

Con base en la metodología planteada y bajo la supervisión directa de la empresa ATS se desarrolló la práctica empresarial durante seis meses en la ciudad de Barrancabermeja con el objetivo de crear una línea de negocio enfocada en reparación de conexiones roscadas de tubulares de producción, se concluye que:

- 1) Mediante salidas de campo, informes de la empresa ATS, normas y consultas realizadas se definieron los mecanismos de daño que afectan las conexiones 8RD-EU y el procedimiento para determinar si pueden ser reparadas junto con la forma de hacerlo, donde los mecanismos de daño comúnmente encontrados pueden ser reparados según los criterios de aceptación y rechazo de inspección visual según la norma API RP 5A5.
- 2) La asesoría en la creación de la nueva línea de negocio se desarrolló teniendo en cuenta la importancia que tiene la industria del petróleo en la economía del país, en donde es indispensable que todos los componentes utilizados en las plataformas perforadoras se desarrollen con altos estándares de seguridad y calidad. El sello de la conexión 8RD-EU está directamente relacionado con la forma de la rosca, de ahí la importancia de revisar su conformación basada en la cresta, flancos y raíz. Por su parte, los Ensayos No Destructivos de inspección electromagnética y visual con verificación dimensional permiten comprobar que los tubulares cuentan con los requisitos necesarios para operar. Por esta razón, se busca ofrecer un servicio audaz que solucione daños mecánicos presentes en los tubulares, eliminando daños con lijas para *motortool*, discos blandos, insertos y torneando con precisión a las conexiones roscadas afectadas para permitir nuevamente la adecuada unión secuencial para extracción de crudo.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Aclarar al cliente que debe ubicar a tiempo y correctamente los tubulares sobre los racks antes de iniciar el servicio de reparación.
- ✓ Los tubulares nunca deberán ser cargados, descargados o movidos a otros racks sin los protectores de rosca instalados.
- ✓ Antes de cada inspección asegurarse que todos los equipos tengan una calibración válida.
- ✓ Mantener una ficha o registro de calibración a 90 días para cada equipo y herramienta.
- ✓ Se recomienda a la empresa ATS contratar personal con experiencia en inspección no destructiva, preferiblemente profesional.
- ✓ Tener control sobre el procedimiento que realice cada personal contratado, evitando procedimientos inadecuados con resultados erróneos.
- ✓ Invertir en contrato de inspectores nivel II evitando que inspectores nivel I realicen actividades que no le correspondan y para las cuales no están calificados.
- ✓ Realizar periódicamente capacitaciones orientadas a ampliar y reforzar conocimiento del correcto manejo de equipos, herramientas y ejecución de los procedimientos de inspección.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Wilian y SALAZAR, Edwin. Optimización de procedimientos de inspección para tubería de perforación (Drill Pipe), tubería de producción (Tubing) y tubería de revestimiento (Casing) de pozos petroleros utilizando Ensayos No Destructivos. Quito, 2007, 259p. Trabajo de investigación (ingeniero mecánico).Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería mecánica.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5B. Specifications for threading, gauging and thread inspection of casing, tubing, and line pipe threads. Decimocuarta edición. Washington. API, 1996.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5B1. Gauging and inspection of casing, tubing, and line pipe threads. Quinta edición. Washington. API, 1999.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 5A5. Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe. Séptima edición. Washington. API, 2005.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. Segunda edición. Washington. API, 2011.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec Q1. Especificación para los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad para organizaciones de manufactura para la industria del petróleo y gas natural. Novena edición. Washington. API, 2013.

AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Criterios de aceptación y rechazo en inspección visual a conexiones buttress y EU, basado en API RP 5A5. Boletín técnico 010. Gerencia de calidad. ATS.

AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Inspección Wellhead. Segunda versión. Bogotá. ATS, 2016.

AMERICAN TUBULAR SERVICES S.A.S. Limpieza de tuberías y herramientas. Primera versión. Bogotá. ATS, 2013.

BILMES, Pablo; LLORENTE, Carlos; ECHARRI, J. M.; MARTÍNEZ, Ángel y ZUZULICH, José. "Análisis de falla por corrosión-fatiga de un tubo de producción de un pozo de petróleo". [En línea]. [Abril de 2017] disponible en: (http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/60325/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

DE LAMA GARCIA, Carlos. Inspección y reparación de tubería de perforación petrolera. Lima-Perú, 1989, 90p. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería mecánica.

Descripción completa API RP 5A5 (R2015). [En línea]. Techstreet Store.06 de Enero de 2005. Disponible en:(https://www.techstreet.com/standards/api-rp-5a5-r2015?product_id=1221367)

FERNÁNDEZ GARRIDO, Rolando. Perforación de pozos petroleros en tierra. La Habana: Científico-Técnica, 2016; p. 59-60.

GIANNETTI, Enrico R. Turning & Boring: Cutting Tools & Inserts For CNC and Manual Lathes. East Bernard: Dorian Tool International, 2010. 116p.

GÓMEZ DE LEÓN, Eduardo. Ultrasonidos: Nivel II. END. Madrid: FC Editorial, 2009. 184p.

GÓMEZ HERRERA, Kevin. Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros. Ciudad de México, 2017,190p. Trabajo de grado (ingeniero petrolero). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

LEÓN CÁRDENAS, Estefanía. Descripción de la metodología para la aplicación de los Ensayos No Destructivos para la tubería usada en la fase de perforación y la fase de completación de la industria hidrocarburífera. Quito, 2016, 98p. Trabajo de grado (tecnólogo en petróleos). Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de ciencias de la ingeniería e industrias.

MENDOZA, Edward; QUINTERO, Luz y SANTOS, Gerardo. Ensayos no destructivos como herramienta para el dimensionamiento de discontinuidades en la superficie externa de tuberías. [En línea]. [15 de Diciembre de 2010] disponible en: (file:///C:/Users/PRINCIPAL/Downloads/Dialnet-EnsayosNoDestructivosComoHerramientaParaEIDimensio-6299818.pdf)

PERILLA, Juan. El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia. En: Revista de Economía del Rosario. Bogotá D.C. 01, Junio, 2010. p. 75 -116.

SHIPLEY, Roch y BECKER, William. Failure Analysis and Prevention, ASM Handbook, volumen 11. ASM International, 2002. 1164p.

TENARIS. La importancia de los tubos en la industria energética de hoy. Versión 1. Abril, 2013.

TENARIS. Rosca redonda. [En línea]. STUDYLIB. 06 de Junio de 2006. Disponible en: (<https://studylib.es/doc/5445823/rosca-redonda>)


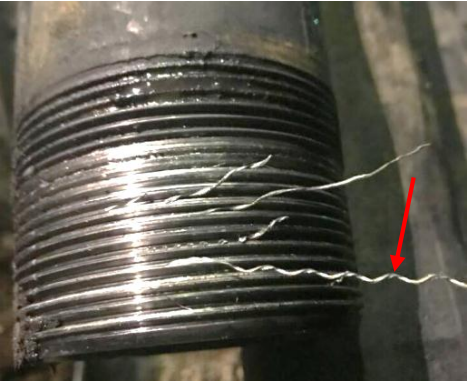
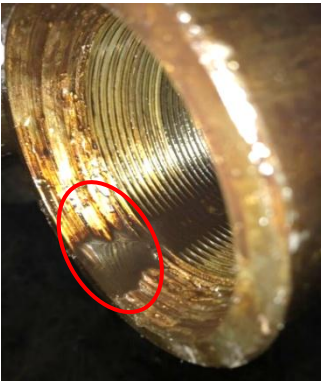
THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Section V. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Nondestructive examination. Edición 2017. New York. ASME, 2017.

Tubería de Producción (TUBING). [En línea]. PerfoBlogger. 23 de Junio de 2015. Disponible en: (<http://perfob.blogspot.com/2015/06/tuberia-de-produccion-tubing.html>)

Una breve introducción de API 5L, API 5B, API 5CT Y API 5D. [En línea]. World iron & steel. 06 de Marzo de 2018. Disponible en: (<http://es.worldironsteel.com/news/a-brief-introduction-of-api-5l-api-5b-api-5c13080365.html>)


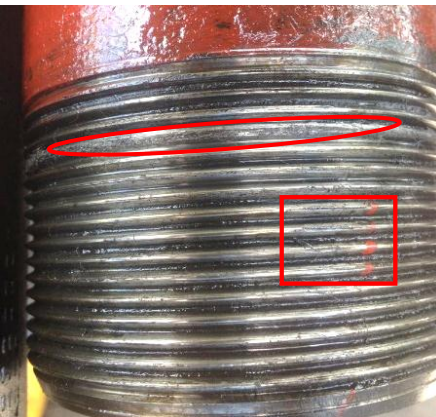

ANEXOS

ANEXO A. Registro fotográfico de algunos daños mecánicos presentes en conexiones roscadas *tubing* inspeccionadas en Barrancabermeja.

Daño	Descripción	Identificación
<p>Galling o cizallamiento (Deformación más grave)</p>	<p>Ocasionado por el apriete excesivo de las conexiones durante las operaciones de manejo, generando desgaste entre las superficies de sello (roscas) y por ende desprendimiento de metal.</p>	 <p>(1)</p>
<p>Hilo rasgado</p>	<p>La conexión presenta un exceso de torque provocando el cruce entre hilos y con ello romper el diseño geométrico de la rosca formando viruta de metal.</p>	 <p>(2)</p>
<p>Galling por box</p>	<p>Desprendimiento de material en el <i>coupling</i> o <i>box</i> por el desgaste de los metales en contacto (roscas pin-<i>box</i>) debido a la operación de manejo, apriete y desapriete excesivo de la conexión.</p>	 <p>(3)</p>




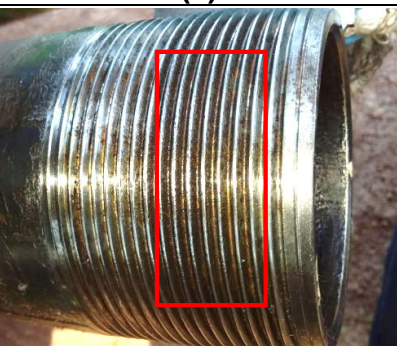
Continuación...

...Continuación

Rosca fundida	Rosca fundida por temperatura, exceso de grasa o sobreesfuerzo al aplicar demasiado torque para enroscar o desenroscar.	 <p>(4)</p>
Mellado	Desgaste del hilo, específicamente la cresta, afectando su altura y forma redonda debido a fricción inadecuada con otra superficie metálica.	 <p>(5)</p>
Golpeado en box	Daño mecánico generado al interior del <i>coupling</i> por un golpe inadecuado con una herramienta, debido a la incorrecta manipulación durante fabricación u operación.	 <p>(6)</p>




Continuación...

...Continuación

<p>Corrosión bajo aislamiento (CUI)</p>	<p>Fenómeno corrosivo que afecta a la conexión por el inadecuado almacenamiento del tubular, causando concentración o condensación de agua en la conexión bajo el aislamiento térmico.</p>	 <p>(7)</p>
<p>Corrosión por picaduras (pitting)</p>	<p>Corrosión localizada que conlleva a la creación de diminutos agujeros provocados por un pequeño defecto de superficie que no fue corregido a tiempo o por efecto de exposición excesiva al entorno.</p>	 <p>(8)</p>
<p>Coupling golpeado</p>	<p>Daño mecánico generado al exterior del <i>coupling</i>, debido a la incorrecta manipulación de herramientas durante las operaciones.</p>	 <p>(9)</p>
<p>Rosca oxidada</p>	<p>Fenómeno corrosivo generado en la superficie de la conexión debido al inapropiado almacenamiento, mantenimiento o limpieza, que conlleva a acumulación de humedad o agentes corrosivos y con ello corrosión.</p>	 <p>(10)</p>

Continuación...

...Continuación

<p>Coupling oxidado superficialmente</p>	<p>Fenómeno corrosivo generado en la superficie externa del <i>coupling</i> debido al inapropiado almacenamiento. Al ser un daño mecánico leve que no afecta el adecuado funcionamiento de la conexión, se considera aceptable.</p>	 <p>(11)</p>
<p>Coupling corroído</p>	<p>Corrosión severa generada en la superficie externa del <i>coupling</i> debido a exposición excesiva al entorno (clima, fluidos provenientes de la producción del pozo)</p>	 <p>(12)</p>
<p>Box mellado y corroído</p>	<p>Fenómeno corrosivo generado en la superficie interna de la conexión debido al inapropiado mantenimiento o limpieza, que conlleva a acumulación de agentes corrosivos.</p>	 <p>(13)</p>

ANEXO B. Tabla de dimensiones de profundidades permitidas en imperfecciones

Tabla A.15- Profundidad permisible de imperfecciones

Dimensiones en milímetros

Clasificación del acople para tubos de tamaño 1	Grupo 1 , 2 (L-80 y C-95) y Grupo 3		Grupo 2 (C-90 y T-95) y Grupo 4
	Picadura y agujeros redondos	Marcas de llave y agujeros en forma redonda	Todos
1	2	3	4
Tubería de producción: Menor de 3-1/2 3-1/2 y más grande	0,76 1,14	0,64 0,76	0,76 0,89
Tubería de revestimiento: Menor de 6-5/8 6-5/8 a 7-5/8, incl. Mayor de 7-5/8	0,89 1,14 1,52	0,76 1,02 1,02	0,76 0,89 0,89

Fuente: Adaptado de: American Petroleum Institute (API). (2005). Práctica recomendada ANSI/API 5A5. *Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe*. Séptima edición.

ANEXO C. Procedimiento para evaluación de mecanismos de daño localizados visualmente en la rosca.



ANEXO D. Esquema de superficie proyectada sobre la conexión para verificar profundidad fuera del área Lc.



ANEXO E. Tabla de diámetros exteriores y tolerancias del *coupling* para *tubing*

Tabla A.18 –Diámetros externos y tolerancia del acople en tubería de producción

Dimensiones en milímetros

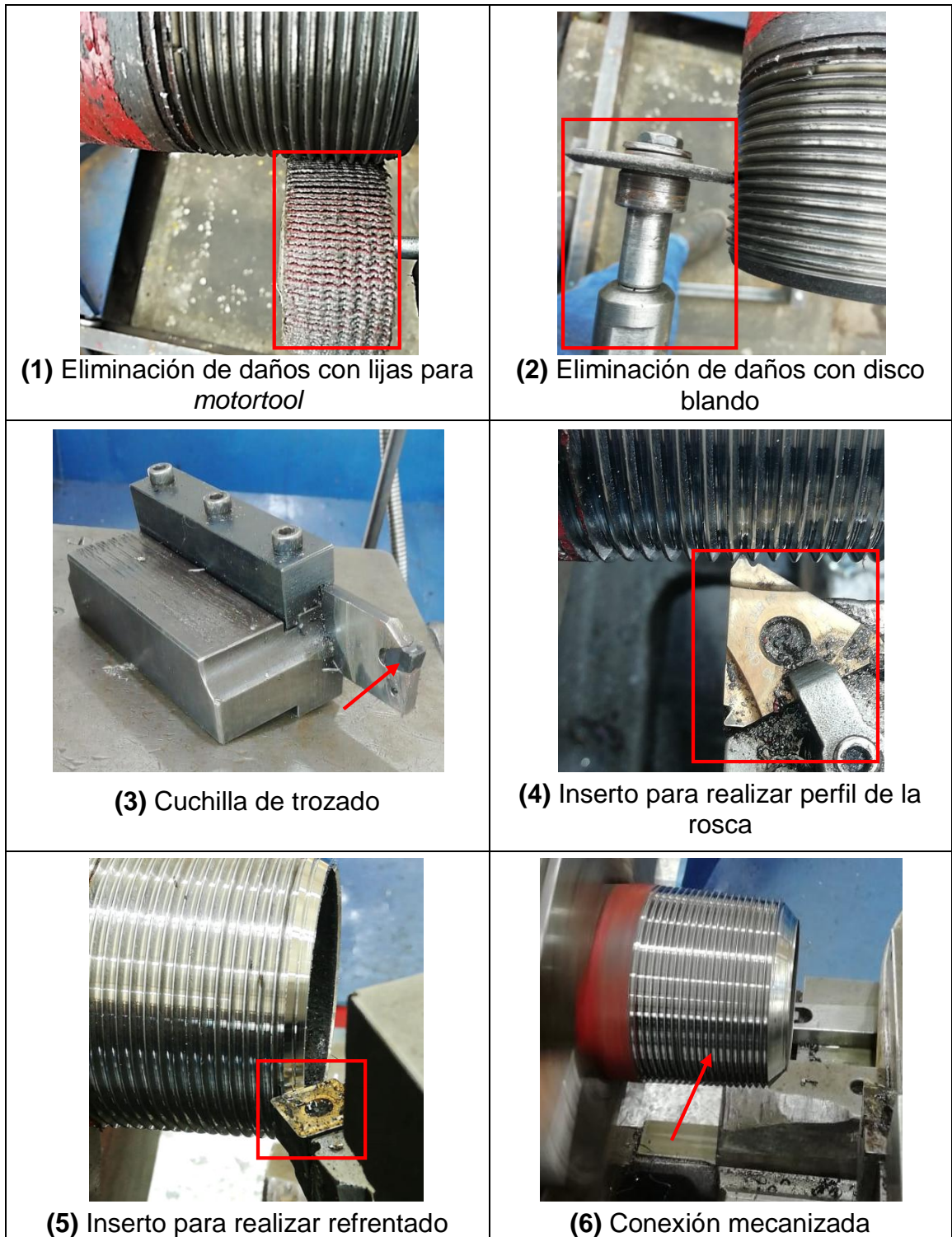
Clasificación a	Diámetro o Externo D	NU diámetro externo			EU diámetro externo					
		Regular, W			Regular y bisel especial, W			Reducción especial, Wc		
		Mínim o	Nomina l	Máxim o	Mínim o	Nomina l	Máxim o	Mínim o	Nomina l	Máxim o
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.050	26,67	33,02	33,35	33,68	41,73	42,16	42,60	---	---	---
1.315	33,40	41,73	42,16	42,60	47,78	48,26	48,74	---	---	---
1.660	42,16	51,64	52,17	52,71	55,32	55,88	56,44	---	---	---
1.900	48,26	55,32	55,88	56,44	62,87	63,50	64,14	---	---	---
2-3/8	60,33	72,29	73,03	73,76	77,01	77,80	78,59	73,53	73,91	74,30
2-7/8	73,03	88,01	88,90	89,79	92,23	93,17	94,11	87,50	87,88	88,27
3-1/2	88,90	106,86	107,95	109,04	113,16	114,30	115,44	105,79	106,17	106,55
4	101,60	119,43	120,65	121,87	125,73	127,00	128,27	---	---	---
4-1/2	114,30	130,76	132,08	133,40	139,88	141,30	142,72	---	---	---

NOTA: Dimensiones tomadas de ISO 11960:2001, tabla C.37 o E.37 y tabla C.38 o E.38

^a El tamaño del acople es el mismo que el tamaño de la tubería correspondiente.

Fuente: Adaptado de: American Petroleum Institute (API). (2005). Práctica recomendada ANSI/API 5A5. *Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe*. Séptima edición.

ANEXO F. Registro fotográfico de procedimientos para reparar daños mecánicos en las conexiones.



Fuente: Varon, Rodolfo. Empresa ATS.

ANEXO G. Tabla de dimensión del área Lc y PTL para tubería de producción

Tabla A.9 – Pin Lc y box PTL en tubería de producción

Dimensiones en milímetros

Clasificación 1	NU		EU		IJ	
	Pin Lc	Box PTL	Pin Lc	Box PTL	Pin Lc	Box PTL
1	3	4	5	6	7	8
1.050	7,62	25,25	7,62	26,04	---	---
1.315	7,62	26,04	8,89	29,21	5,72	26,04
1.660	8,89	29,21	12,07	32,39	8,89	29,21
1.900	12,07	32,39	13,67	33,99	12,07	32,39
2-1/16	---	---	---	---	13,67	33,99
2-3/8	18,42	38,74	23,83	46,05	---	---
2-7/8	29,54	49,86	28,58	50,80	---	---
3-1/2	35,89	56,21	34,93	57,15	---	---
4	34,93	57,15	38,10	60,33	---	---
4-1/2	39,70	61,93	41,28	63,50	---	---

Fuente: Adaptado de: American Petroleum Institute (API). (2005). Práctica recomendada ANSI/API 5A5. *Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain-end Drill Pipe*. Séptima edición.

ANEXO H. Tabla de dimensiones externas de la rosca para *tubing*.

Tabla 6 - Dimensiones externas de la rosca de tubería de producción

1	2	3	4	5	6	7
Tamaño OD (in.)	Longitud total del hilo L4 (in.)	Tolerancia de longitud del hilo (in.)	Longitud mínima hilo de cresta completa Lc (in.)	Longitud mínima del acople N _L (in.)	Dimensión J (in.)	L4-g
1.050	1.125 (1-4/32)	+0.150(5/32) -0.075(2/32)	0.300 (10/32)	3-1/4	0.500	0.625
1.315	1.250 (1-8/32)	+0.150(5/32) -0.075(2/32)	0.350 (11/32)	3-1/2	0.500	0.750
1.660	1.375(1-12/32)	+0.150(5/32) -0.075(2/32)	0.475 (15/32)	3-3/4	0.500	0.875
1.900	1.438(1-14/32)	+0.150(5/32) -0.075(2/32)	0.538 (17/32)	3-7/8	0.500	0.938
2-3/8	1.938(1-30/32)	±0.125(4/32)	0.938 (30/32)	4-7/8	0.500	1.438
2-7/8	2.125 (2-4/32)	±0.125(4/32)	1.125 (1-4/32)	5-1/4	0.500	1.625
3-1/2	2.375(2-12/32)	±0.125(4/32)	1.375 (1-12/32)	5-3/4	0.500	1.875
4	2.500(2-16/32)	±0.125(4/32)	1.500 (1-16/32)	6	0.500	2.000
4-1/2	2.625(2-20/32)	±0.125(4/32)	1.625 (1-20/32)	6-1/4	0.500	2.125

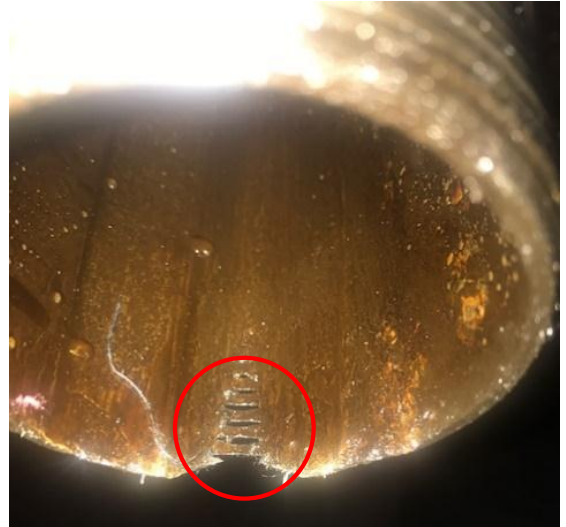
NOTA: Las cifras entre paréntesis representan la longitud equivalente aproximada en pulgadas y 32 partes de una pulgada

Fuente. Adaptado de: American Petroleum Institute (API). (1999). API Spec 5B1. *Gauging and inspection of casing, tubing, and line pipe threads*. Quinta edición.

ANEXO I. Daños mecánicos irreparables en conexiones roscadas *tubing*



(1) Corrosión severa en el extremo del tubular



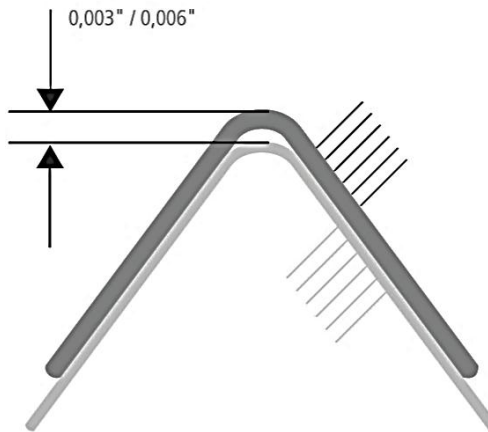
(2) Desgaste de la pared generado por el canal



(3) Corrosión severa al interior del tubular

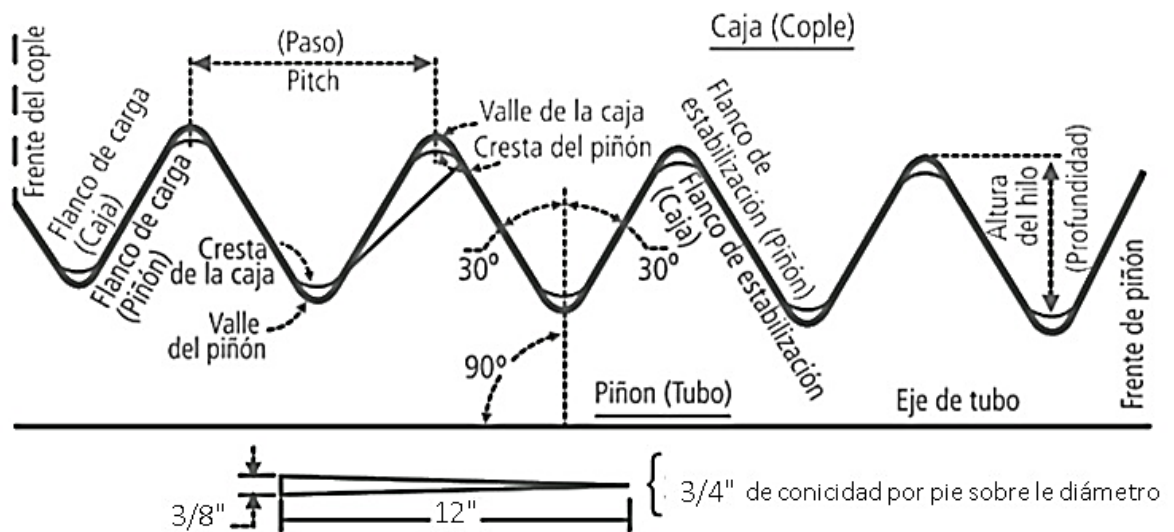
Fuente: Gómez, Oscar. Empresa ATS.

ANEXO J. Cavidad en rosca redonda



Fuente. Tenaris. Rosca redonda. [En línea]. STUDYLIB. 06 de Junio de 2006. Disponible en: (<https://studylib.es/doc/5445823/rosca-redonda>)

ANEXO K. Diagrama de perfil general de la rosca redonda



Nota: Los flancos de estabilización y de carga son de 30°, con una conicidad de 3/4" por pie.

Fuente. Tenaris. Rosca redonda. [En línea]. STUDYLIB. 06 de Junio de 2006. Disponible en: (<https://studylib.es/doc/5445823/rosca-redonda>)

ANEXO L. Foto de cómo puede quedar el interior del taller móvil.



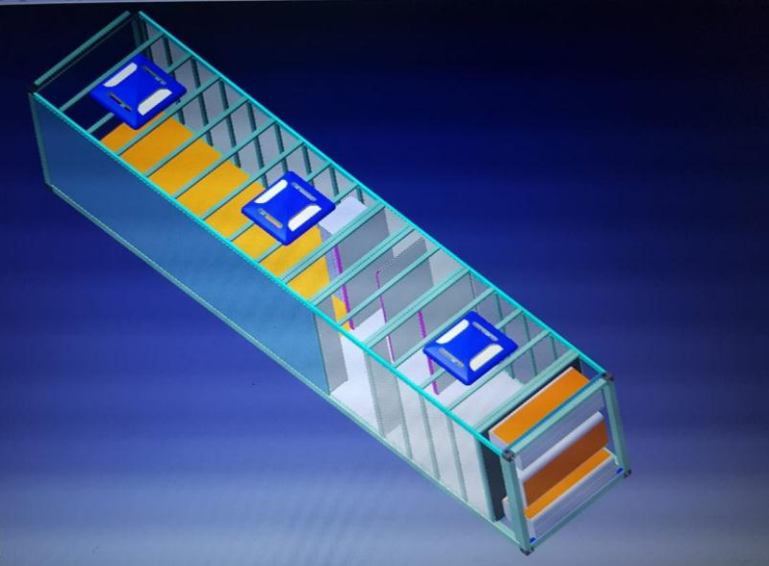
Fuente: Alvarez, Reinaldo. Empresa Servibus.

ANEXO M. Foto representativa del trailer con el dispositivo de subir y bajar el contenedor.



Fuente: Alvarez, Reinaldo. Empresa Servibus.

ANEXO N. Diseño inicial del *workshop*



Fuente: Alvarez, Reinaldo. Empresa Servibus.