

PROPUESTA DE UN PLAN DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA DE
UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO - UBM, COMO HERRAMIENTA DE
DIAGNÓSTICO EN MANTENIMIENTO, UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE
DRONES

JUAN CARLOS MARTÍNEZ ROMERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2020

PROPUESTA DE UN PLAN DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA DE
UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO - UBM, COMO HERRAMIENTA DE
DIAGNÓSTICO EN MANTENIMIENTO, UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE
DRONES

JUAN CARLOS MARTÍNEZ ROMERO

Monografía de grado presentado como requisito para optar el título de especialista
en gerencia de mantenimiento

Director:

LUIS CARLOS BENAVIDES

Maestría en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2020

DEDICATORIA

A Juanich

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	11
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo general.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	14
2. MARCO REFERENCIAL	17
2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO	17
2.1.1 Mantenimiento Preventivo.....	18
2.2 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ALS.....	19
2.2.1 Bombeo Mecánico.	19
2.3 DRONES	23
2.3.1 Componentes principales de un dron.	23
2.3.2 Tipos de drones.	26
2.4 INSPECCIÓN VISUAL.....	29
3. MARCO NORMATIVO.....	32
3.1 LEGISLACIÓN COLOMBIANA PARA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS	33
3.1.1 Clasificación de las operaciones con UAS.....	35
3.1.2 Limitaciones de operación de los UAS de Clase A.	36
3.1.3 Condiciones de operación de los UAS de Clase A.	37

3.1.4 Inscripción del propietario del UAS de Clase A.....	39
3.1.5 Marcación de la UA.....	39
3.2 GUIA API PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE SISTEMAS DE AERONAVEAS NO TRIPULADAS	39
3.2.1 Seguro y responsabilidad.....	40
3.2.2 Normas y procedimientos de vuelo.....	41
3.2.3 Planes de Contingencia.	41
3.2.4 Pruebas y autorización.....	41
3.2.5 Seguridad de los datos.	42
4. METODOLOGÍA	43
4.1 PLANIFICACIÓN	45
4.1.1 Criterio de selección del drone para la tarea específica de inspección de UBM.....	45
4.1.2 Determinación de componentes y puntos de interes a inspeccionar en la UBM.....	47
4.1.3 Guía de discontinuidades comunes en equipo de superficie de UBM.	51
4.2 DESARROLLO	59
4.2.1 Ruta de inspección remota de la UBM.....	59
4.2.2 Check list prevuelo drone.....	62
4.2.3 Limitaciones de operación de los UAS de clase A	63
4.2.4 Condiciones de operación de los UAS de clase A.	64
4.3 REPORTE	65
5. PLAN DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA	67
5.1 OBJETIVO	67
5.2 ALCANCE	67
5.3 RESPONSABILIDADES	68
5.4 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN DE REFERENCIA.	68
5.5 DURACIÓN PREVISTA DE LA INSPECCIÓN.....	68
5.6 FECHA Y LUGAR DONDE SE REALIZARÁ LA INSPECCIÓN.	69

5.7 IDENTIDAD DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INSPECTOR.	69
5.8 REQUISITOS GENERALES.....	69
5.9 ÁREAS DE INSPECCIÓN	69
5.10 DISCONTINUIDADES QUE DEBEN SER DETALLADAS.....	70
5.11 EVALUACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES REGISTRADAS	70
5.12 REPORTE DE INSPECCIÓN	70
6. CONCLUSIONES	71
7. RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE TABLAS

pág.

TABLA 1 Comparativo entre diferentes modelos de drones DJI.	47
TABLA 2 Ruta de inspección de la UBM.	60
TABLA 3 Check list drone prevuelo.....	62
TABLA 4 Check list limitaciones de operación.	63
TABLA 5 Check list condiciones de operación.....	64

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Ilustración 1. Comparativo UBM (SRP) con otras tecnologías.....	20
Ilustración 2. Unidad de bombeo mecánico, componentes superficiales y subsuperficiales	22
Ilustración 3. Componentes principales de un drone	23
Ilustración 4. Plan de inspección.....	44
Ilustración 5. Componentes principales de la unidad de bombeo mecánico.....	49
Ilustración 6. Foto de UBM desde la vista superior, posterior, izquierda.	52
Ilustración 7. Evidencia de agrietamiento	53
Ilustración 8. Evidencia de herrumbre.....	53
Ilustración 9. Evidencia de grieta con herrumbre proveniente del interior de la grieta.....	54
Ilustración 10. Elementos de sujeción fracturados y faltantes.	55
Ilustración 11. Indicaciones de marcas de seguimiento de Wireline sobre el Caremulo.	56
Ilustración 12. Marca de coincidencia girada.	57
Ilustración 13. Movimiento relativo entre base de la unidad y la placa de fundición	57
Ilustración 14. Mangueras de lubricación.....	58
Ilustración 15. Deformación en zona de acople	58
Ilustración 16. Referencia de las vistas de la UBM para el plan de vuelo.....	60

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE UN PLAN DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO - UBM, COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO EN MANTENIMIENTO, UTILIZANDO TECNOLOGIA DE DRONES*

AUTOR: JUAN CARLOS MARTINEZ ROMERO**

PALABRAS CLAVE: DRON, INSPECCIÓN VISUAL, LEGISLACIÓN, BOMBEO MECÁNICO, MANTENIMIENTO.

DESCRIPCIÓN: Para desarrollar el plan de inspección visual remoto del equipo de superficie de unidades de bombeo mecánico – UBM, se lleva a cabo una revisión de la normativa colombiana vigente para el uso de aeronaves no tripuladas, contemplando requisitos, limitaciones, condiciones y parámetros de selección de un sistema de aeronave no tripulada - UAS, adicionalmente se contemplan las directrices del Instituto Americano del Petróleo - API dadas en la guía para desarrollar un programa de sistemas de aeronaves no tripuladas. Para la tarea específica de inspección remota de UBM, se determinan las partes y componentes del equipo de superficie susceptibles de falla y a las que es posible realizar inspección con una cámara adaptada al dron, con el fin de tomar evidencias fotográficas y de video, que sirvan como input al inspector para llevar a cabo un apropiado diagnóstico de mantenimiento. También se consolida una guía visual de las discontinuidades más comunes que se presentan en el equipo de superficie. Por último y basado en todo el desarrollo del contenido del documento, se propone el plan de inspección, el cual contempla todos los aspectos relevantes para ejecutar de manera satisfactoria y segura la inspección remota de la unidad. En el plan de inspección se determinan entre otras, las responsabilidades de cada uno de los integrantes del equipo inspector, las variables a contemplar durante la etapa de vuelo, puntos de interés a los cuales es necesario tomar evidencia, criterios de evaluación de los hallazgos y parámetros relevantes para emitir el reporte final.

*Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: MSc. Luis C. Benavides

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL FOR A REMOTE VISUAL INSPECTION PLAN FOR MECHANICAL PUMPING UNITS, AS A DIAGNOSTIC TOOL IN MAINTENANCE, USING DRONE TECHNOLOGY *

AUTHOR: JUAN CARLOS MARTÍNEZ ROMERO**

KEY WORDS: DRONE, VISUAL INSPECTION, LEGISLATION, MECHANICAL PUMPING, MAINTENANCE.

DESCRIPTION: To develop the remote visual inspection plan of the surface equipment of mechanical pumping units - UBM, a review of the current Colombian regulations for the use of unmanned aircraft is carried out, considering requirements, limitations, conditions and parameters of selection of an unmanned aircraft system - UAS, additionally the guidelines of the American Petroleum Institute - API given in the guide to develop a program of unmanned aircraft systems are contemplated. For the specific task of remote inspection of UBM, the parts and components of the surface equipment susceptible to failure are determined and which it is possible to carry out inspection with a camera adapted to the drone, in order to take photographic and video evidence, which serve as input to the inspector to carry out a proper maintenance diagnosis. A visual guide of the most common discontinuities that occur in surface equipment is also consolidated. Finally, and based on the entire development of the content of the document, the inspection plan is proposed, which includes all relevant aspects to execute the remote inspection of the unit successfully and safely. The inspection plan determines, among others, the responsibilities of each of the members of the inspection team, the variables to be considered during the flight stage, points of interest from which it is necessary to take evidence, criteria for evaluating the findings and relevant parameters to issue the final report.

*Monograph

** Faculty of Physic mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: MSc. Luis C. Benavides

INTRODUCCIÓN

Somos testigos de la cuarta revolución industrial, estamos viviendo una época de grandes cambios y aplicabilidad de nuevas tecnologías en todas las áreas industriales y en todos los ámbitos de nuestras vidas, por lo cual para el área de mantenimiento la aplicación de las nuevas tecnologías es un reto y por lo tanto se han incorporado en las diferentes tareas. En nuestro país no somos ajenos a dicha realidad y en junio de 2020 la autoridad competente ha publicado la RAC 91 - reglamentos aeronáuticos de Colombia, en la cual se contempla operación de sistemas de aeronaves no tripuladas.

En el sector oil and gas el objetivo número uno en sus operaciones es la seguridad, en el área de producción de hidrocarburos por sistemas de levantamiento artificial, específicamente en unidades de bombeo mecánico se presenta alto riesgo en algunas de las tareas debido al tamaño y altura del equipo de superficie. Para el área de mantenimiento es primordial realizar inspecciones periódicas de la unidad, pero debido al trabajo en alturas y la necesidad de parar la unidad esta tarea se convierte en una labor compleja.

La presente monografía pretende desarrollar una propuesta de un plan de inspección remota para unidades de bombeo mecánico, y a partir de las evidencias obtenidas utilizarlas como input para el diagnóstico de mantenimiento.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sectores de industrias como la minera, de hidrocarburos, generación eléctrica y de telecomunicaciones entre otras, tienen equipos de dimensiones considerables, en los cuales la ejecución de trabajo en altura o trabajo en espacios confinados conlleva un riesgo elevado para el personal que ejecuta dichas tareas, por lo cual la normatividad y las empresas cada vez son más exigentes en los requisitos para ejecutar dichos trabajos.

En la industria de hidrocarburos, en el área de producción uno de los sistemas de levantamiento artificial utilizado son las Unidades de Bombeo Mecánico (UBM), las cuales operan de forma continua, por tal motivo es de suma importancia realizar inspecciones visuales periódicas, pero dicha tarea en ocasiones implica un nivel de riesgo alto por el difícil acceso a componentes de interés ubicados en posiciones elevadas y requiere parada de la unidad.

Para las empresas operadoras en el sector de hidrocarburos es muy valioso poder realizar inspección sin necesidad de parar la UBM, ya que al tener que detener la unidad se pierde producción durante el tiempo de ejecución de la tarea de inspección y durante la operación de arranque y estabilización de las variables de la UBM.

Para garantizar el cumplimiento y mejora continua de los indicadores de mantenimiento, es vital la inspección periódica, con el fin de detectar a tiempo cualquier indicación que pudiese conllevar a la afectación del desempeño esperado de las UBM, conllevando a la afectación de las metas de producción de crudo del pozo en el cual está instalada la UBM.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Plantear una propuesta de un plan de inspección visual remota de unidades de bombeo mecánico, como herramienta de diagnóstico en mantenimiento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos legales expedidos por la autoridad aeronáutica en Colombia, para el uso de drones en la tarea específica de inspección de UBM.
- Seleccionar técnicamente modelos de drones para ejecutar la labor de toma de imágenes fotográficas y de video de alta calidad en UBM en operación.
- Generar una ruta de inspección visual remota de la UBM, en el cual se establezcan los puntos y componentes de interés de los cuales se debe tomar evidencia fotográfica o de video por medio del dron.
- Generar una guía visual de las discontinuidades comunes que se presentan en el equipo de superficie de la UBM.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la industria de hidrocarburos, en la producción de crudo el bombeo mecánico es el sistema de levantamiento artificial más utilizado a nivel mundial, la UBM es la

encargada de generar un movimiento ascendente y descendente en la sarta de varilla, haciendo mover el pistón que se encuentra en la bomba de subsuelo. Siendo la UBM el corazón del pozo, por lo anterior el área de mantenimiento debe asegurar la integridad y confiabilidad esperada de la UBM.

Para garantizar un mantenimiento oportuno, evitando fallas, interrupciones en la operación, accidentes y daños significativos, es necesario realizar inspecciones periódicas en la UBM para detectar a tiempo condiciones fuera de especificación o indicaciones relevantes.

Los avances tecnológicos han desarrollado herramientas como drones, los cuales pueden acceder fácilmente a puntos de interés de difícil acceso, y con cámaras de alta resolución se pueden tomar imágenes fotográficas o de video, a partir de las cuales se puede generar un concepto de las condiciones de integridad por la técnica de inspección visual.

Implementando la inspección remota por medio de drones se simplifica y mejora el proceso de inspección, se evita que el personal de inspecciones este expuesto a trabajo en alturas, eliminando de esta manera la exposición del personal al riesgo de dichas tareas. Adicional la inspección remota incrementa los niveles de producción del pozo y representa un ahorro significativo en el presupuesto de mantenimiento.

1.4 ESTADO DEL ARTE¹

Debido a la competencia en el mercado y a los estándares de seguridad cada vez más exigentes en las empresas operadoras y de servicios en la industria oil and

¹ Drones in the oil and gas industry: Leading companies. [Sitio web]. [Consultada: 15 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.offshore-technology.com/comment/drones-oil-gas-leading-companies/>

gas, es constante la búsqueda de nuevas prácticas que conlleve a un ahorro económico en sus operaciones y que dichas prácticas representen el menor riesgo para los trabajadores.

Por lo tanto, las empresas más grandes de oil and gas han estado realizando hace un tiempo considerable investigaciones e implementaciones con nuevas tecnologías como el caso de drones.

A continuación, se describen algunas de las empresas que han incursionado en la implementación de tecnología por drones para sus tareas cotidianas.

En la industria de los hidrocarburos, una de las primeras empresas en utilizar drones fue la British Petroleum (BP), realizando estudios piloto en 2006 en sus campos petroleros en Alaska. Actualmente la compañía despliega drones, rastreadores y otras tecnologías robóticas para realizar tareas arriesgadas en sus áreas operativas.

Otra de las empresas oil and gas en utilizar la tecnología de drones es Chevron, aprovechando las capacidades de adquisición de datos aéreos de los drones para mejorar la seguridad y la productividad en los campos petroleros.

ConocoPhillips está empleando drones para inspección y monitoreo de sus activos en todo el mundo, estos incluyen los Estados Unidos, el Mar del Norte y Australia.

Para ExxonMobil entre las numerosas iniciativas de investigación tecnológica, el desarrollo de tecnologías de drones ha ocupado un lugar destacado en la agenda de la compañía desde 2012, la compañía está ayudando al desarrollo de drones por su potencial para mejorar la seguridad operativa mientras contribuye a la eficiencia. En los últimos, ExxonMobile ha desplegado drones para vigilancia aérea e inspección de operaciones en América del Norte, el Reino Unido y

Australia, enfocándose principalmente en plataformas en alta mar y complejos de refinación y petroquímicos.

El gigante ruso de petróleo y gas Gazprom está llevando a cabo pruebas exhaustivas para evaluar el desempeño de los drones en la vigilancia y monitoreo de sus activos en condiciones de frío extremo. la compañía apunta a desarrollar drones que puedan facilitar la recopilación de datos rápida, segura y confiable a costos más bajos. En junio de 2019, Gazprom anunció la finalización exitosa de un proyecto que involucraba el uso de drones para llevar a cabo la exploración de hidrocarburos en el campo Novoportovskoye.

Por su parte Shell ha estado utilizando drones de Aeryon Labs para realizar inspecciones de apilamiento en sus instalaciones. la compañía también está realizando estudios piloto en su centro de tecnología en Houston, tienen la intención de evaluar las capacidades de los drones para realizar inspecciones de activos utilizando diferentes combinaciones de dispositivos de detección y tecnologías de drones. En diciembre de 2018, Shell anunció una asociación con una start-up de tecnología Kespry que se especializa en proporcionar adquisición de datos aéreos basados en drones para aplicaciones industriales.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO²

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial y, sobre todo de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento busca no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él el coste de mantenimiento. Pero se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costes asociados. Aparece El Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de

² GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. P. 1-2. ISBN-10: 84-7978-548-9

Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). Paralelamente, Sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de qué puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos, y se desarrolla el TPM, o mantenimiento productivo total.

2.1.1 Mantenimiento Preventivo. Por medio de inspecciones periódicas debidamente establecidas, el mantenimiento preventivo tiene como finalidad detectar a tiempo condiciones anormales en sistemas, equipos o componentes, corrigiendo condiciones que potencialmente podrían conllevar a fallas inesperadas.

Realizando el mantenimiento preventivo basado en las recomendaciones del fabricante y complementándolo con la experiencia e historial estadístico recopilado de los equipos específicamente en la aplicación garantizara un mayor ciclo de vida del equipo, traducándose esto en economía.

Las tareas de un programa de mantenimiento preventivo contemplan la inspección periódica de los equipos, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción, con el fin de corregir y/o mitigar dichas condiciones cuando se encuentren aun en etapa incipiente.

Par ejecutar exitosamente un plan de Mantenimiento Preventivo es necesario tener un conocimiento a fondo de los componentes del sistema, su conceptualización, su metodología sus etapas de aplicación, y su forma de administración, para lograr la confiabilidad y disponibilidad esperada de los activos.

2.2 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ALS³

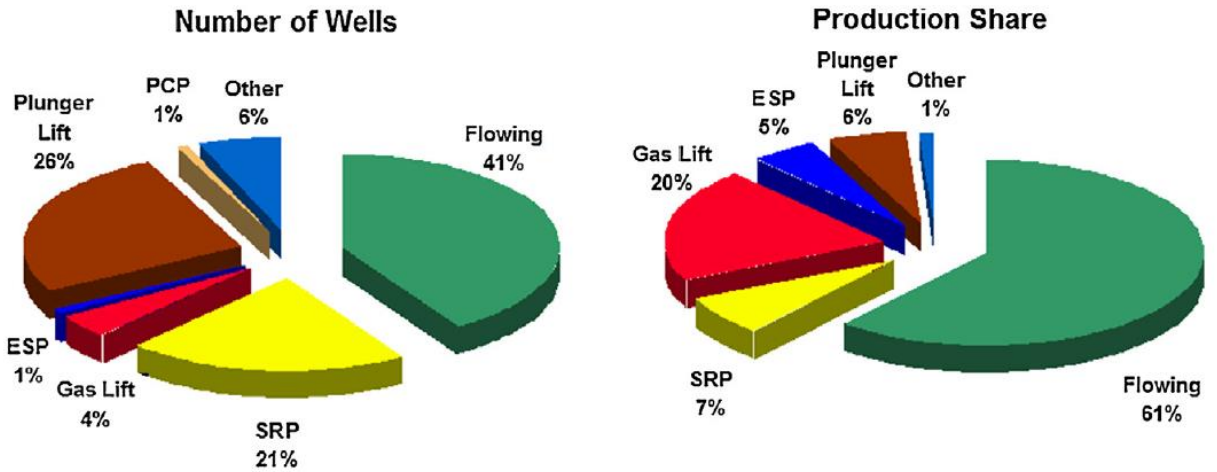
Una vez que se descubre, evalúa y perfora un yacimiento de petróleo y gas la empresa operadora comienzan la tarea de maximizar la producción, dependiendo de las condiciones al principio de la vida del pozo es posible que la presión subterránea empuje los hidrocarburos hasta la superficie, generando un flujo natural, cuando dicha presión no es suficiente para que el fluido alcance la superficie, los operadores de exploración y producción deberán utilizar un sistema de levantamiento artificial (ALS – Artificial Lift System). Los sistemas de levantamiento artificial tienen como propósito suministrar energía a la columna del pozo con el fin de generar la presión suficiente para que los hidrocarburos alcancen la superficie en las cantidades deseadas. Los sistemas de levantamiento artificial utilizan una diversidad de principios de operación por medio de dispositivos mecánicos, incluidos el bombeo mecánico (SRP – Sucker Rod Pumping), bombas de cavidades progresivas (PCP - Progressing Cavity Pump), el levantamiento artificial por gas (GL – Gas Lift) y las bombas eléctricas sumergibles (ESP – Electric Submersible Pump). Los operadores esperan que el pozo produzca continuamente sin interrupciones, ya que una parada de pozo representa una pérdida de producción considerable, por lo cual el departamento de mantenimiento debe asegurar una alta confiabilidad de los sistemas de producción, para lo cual debe realizarse inspecciones periódicas con el fin de detectar a tiempo alguna posible falla prematura.

2.2.1 Bombeo Mecánico. El bombeo mecánico es el sistema de levantamiento artificial más antiguo y ampliamente usado para pozos de petróleo a nivel mundial, la Ilustración 1 presenta estimaciones sobre el número de instalaciones diferentes

³ GABOR, Takacs, Sucker-Rod Pumping Handbook Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. Massachusetts, USA: Elsevier, 2015. P. 2-4. ISBN: 978-0-12-417204-3

y su participación en la producción total de petróleo del mundo. Gabor Takacs - 2015)

Ilustración 1. Comparativo UBM (SRP) con otras tecnologías.



Fuente: GABOR, Takacs, Sucker-Rod Pumping Handbook Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. Massachusetts, USA: Elsevier, 2015. P. 4. ISBN: 978-0-12-417204-3

- **Reseña Histórica Bombeo Mecánico⁴**

Durante la historia temprana de la humanidad se utilizaron diferentes métodos para suministrar agua potable desde formaciones rocosas cercanas a la superficie. Estos incluyeron la perforación y el bombeo de pozos poco profundos, probablemente inventados por primera vez por los chinos hace muchos siglos. Al crear bombas de émbolo hechas de tubos de bambú y válvulas talladas en piedra, utilizaron varillas de madera para operar la bomba desde la superficie.

⁴ RIOS, Gabriel, Metodología para implementar el sistema artificial de producción de bombeo de cavidades progresivas en el campo Moloacan, Trabajo de grado Maestro en Ingeniería, UNAM, 2017. 121p.

El bombeo mecánico convencional nació prácticamente a la par con la industria petrolera, cuando el coronel Drake perforó un pozo que era de su pertenencia ubicado en Pennsylvania aproximadamente en 1859. El coronel Edwin Drake a pesar de no ser geólogo ni minero, descubre una napa de petróleo a una profundidad de 21 metros utilizando una perforadora mecánica construida para la ocasión por el Herrero William Smith extrayendo lo mediante un rudimentario sistema de bombeo.

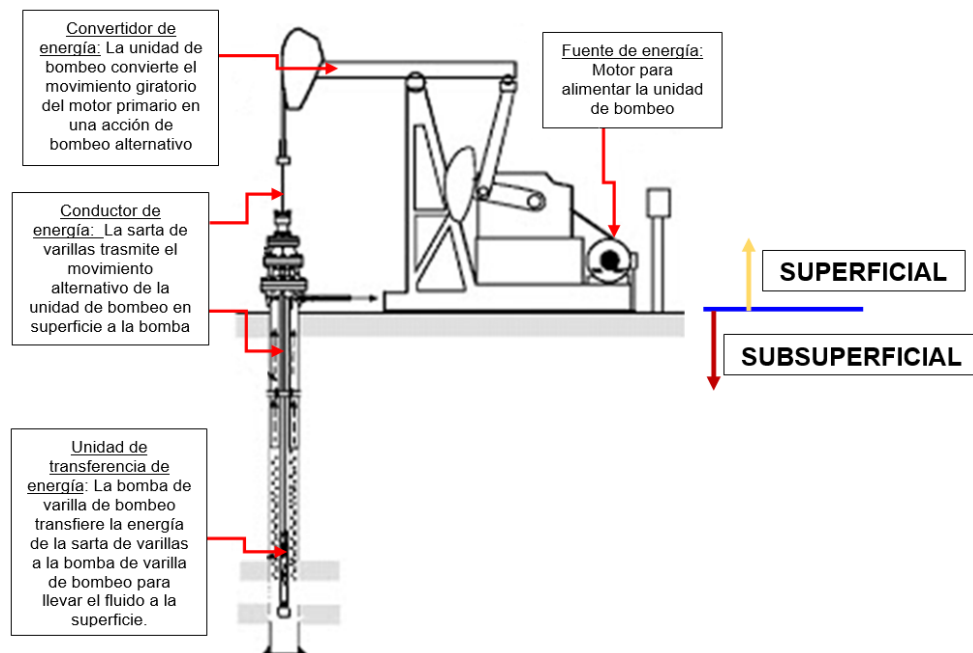
En aquella época la perforación se hacía con herramientas de percusión, donde la mecha se suspendía mediante una especie de balancín hecho con madera y se dejaba caer. Cuando el pozo moría, era más fácil usar el balancín de madera que había quedado en el sitio para operar la bomba de subsuelo. Así nació lo que hoy conocemos como bombeo mecánico convencional, aunque hoy en día no se usan balancines ni varillas de madera y mucho menos máquinas a vapor, los componentes del método aún se conservan.

El balancín el cual es un símbolo reconocido a nivel mundial del bombeo mecánico convencional, todavía se usa para convertir el movimiento rotatorio del motor en recíprocamente y así impulsar la bomba. Al principio se utilizaban máquinas de bombeo que alcanzaban los 100 a 250 metros de profundidad, con un balancín de madera, sarta de varillas de acero y una bomba tipo molino de viento. Con el transcurso de los años la industria petrolera adoptó este sistema y lo adaptó para profundidades cada vez mayores, ubicándolo como uno de los métodos de levantamiento artificial más utilizados para la extracción de crudo.

- **Componentes principales del sistema de bombeo mecánico⁵**

El sistema de bombeo mecánico en términos generales está conformado por dos tipos de componentes dependiendo si se encuentran sobre el suelo (superficial) o si se encuentran por debajo de la superficie (subsuperficial). Para su funcionamiento el sistema consta de una bomba de fondo de acción recíprocante la cual es accionada por la energía transmitida por la sarta de varillas, la cual es abastecida de la energía generada por el motor el cual moviliza la unidad de superficie mediante un sistema de engranajes y correas, como se detalla en la ilustración 2.

Ilustración 2. Unidad de bombeo mecánico, componentes superficiales y subsuperficiales



Fuente: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/bombeo-mecanico-de-petroleo/>

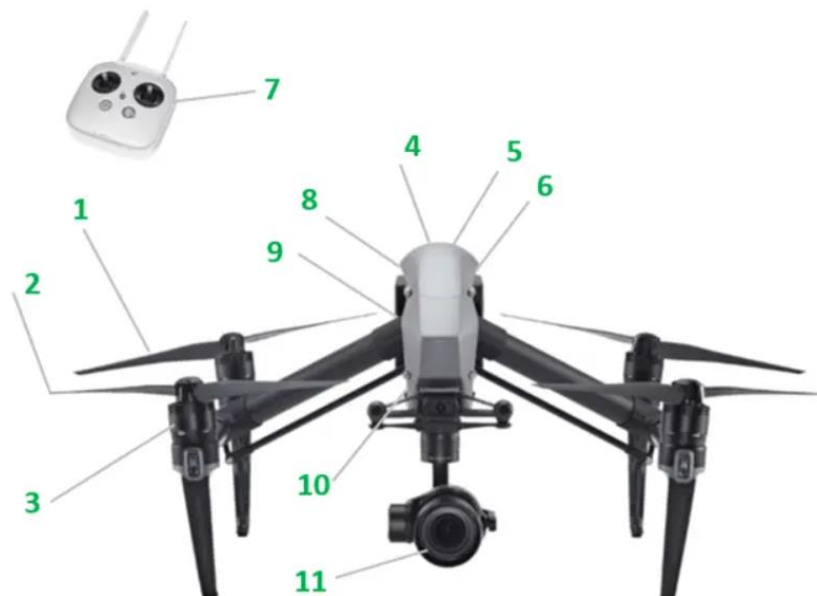
⁵ Petroblogger, Bombeo mecánico de petróleo. [Sitio web]. [Consultada: 18 de mayo de 2019].
 Disponible en: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/bombeo-mecanico-de-petroleo/>

2.3 DRONES

Según la Real Academia Española – RAE, se define dron como una aeronave no tripuladas, en ingles corresponde al termino drone, y se utilizan diferentes siglas, tales como UAV (Unmanned Aerial Vehicle), RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).

2.3.1 Componentes principales de un drone⁶. En términos generales un drone está equipado por lo componentes que se indican en la Ilustración 3.

Ilustración 3. Componentes principales de un drone



Fuente: Componentes de un dron y su función. Disponible en:

<https://grinddrone.com/drone-features/drone-components>

⁶ Grinddrone, drone components and what they do. [Sitio web]. [Consultada: 11 de julio de 2020].

Disponible en: <https://grinddrone.com/drone-features/drone-components>

1). Hélices estándar

Las hélices estándar suelen estar ubicadas en la parte delantera del dron, son las responsables de la dirección y el movimiento del dron, se fabrican en diferentes tamaños y materiales.

2). Hélices de empuje

Las hélices empujadoras son las responsables del empuje hacia adelante y hacia atrás del dron durante el vuelo, determinan la dirección que toma el dron hacia adelante o hacia atrás. Normalmente se encuentran en la parte trasera del dron. Hay diferentes dimensiones según el tamaño del dron.

3). Motores sin escobillas

Todos los drones que se fabrican últimamente utilizan motores sin escobillas que se consideran más eficientes en términos de rendimiento y funcionamiento en comparación con los motores con escobillas. El diseño del motor es tan importante como el propio dron, un motor eficiente se traduce en mayor vida útil de la batería, y por lo tanto mayor autonomía de vuelo.

4). Tren de aterrizaje

Algunos drones vienen con trenes de aterrizaje estilo helicóptero que ayudan a aterrizar el dron. Los drones de reparto que transportan paquetes o artículos pueden necesitar un tren de aterrizaje espacioso debido al espacio requerido para sostener los artículos cuando toca el suelo. Sin embargo, no todos los drones requieren un tren de aterrizaje. En algunos casos, el tren de aterrizaje puede resultar un impedimento para la vista de 360 grados del entorno, especialmente para un dron con cámara.

5). Controladores de velocidad electrónicos

Un controlador de velocidad electrónico es un circuito eléctrico cuya principal responsabilidad es monitorear y variar la velocidad del dron durante el vuelo. Los

drones modernos dependen completamente del controlador de velocidad electrónico para todas sus necesidades de vuelo y rendimiento.

6). Controlador de vuelo

El controlador de vuelo es básicamente la tarjeta base del dron. Es responsable de todos los comandos que el piloto envía al dron. Interpreta la entrada del receptor, el módulo GPS, el monitor de batería y los sensores integrados. El controlador de vuelo también es responsable de la regulación de las velocidades del motor a través del controlador de velocidad electrónico y de la dirección del dron. Cualquier comando, como el disparo de la cámara, el control del modo de piloto automático y otras funciones autónomas, son controlados por el controlador de vuelo.

7). El receptor

El receptor es la unidad responsable de la recepción de las señales de radio enviadas al dron a través del controlador. El número mínimo de canales que se necesitan para controlar un dron suele ser de 4. Sin embargo, se recomienda disponer de 5 canales.

8). El transmisor

El transmisor es la unidad responsable de la transmisión de las señales de radio desde el controlador al dron para emitir comandos de vuelo y direcciones. El receptor y el transmisor deben utilizar una única señal de radio para comunicarse con el dron durante el vuelo. Cada señal de radio tiene un código estándar que ayuda a diferenciar la señal de otras señales de radio en el aire.

9). Módulo GPS

El módulo GPS es responsable de proporcionar los puntos de longitud, latitud y elevación del dron. Es un componente muy importante del dron. Sin el módulo GPS, los drones no serían tan importantes como lo son hoy. Los módulos ayudan a los drones a navegar distancias más largas y a capturar detalles de ubicaciones

específicas en tierra. El módulo GPS también ayuda a devolver el dron de forma segura a “casa” incluso en caso de que pierda la conexión con el controlador.

10). Batería

La batería es la parte del dron que hace posibles todas las acciones y reacciones. Sin la batería, el dron no tendría energía y, por lo tanto, no podría volar. Depende del modelo y características del dron, tendrá diferentes requisitos de batería. Hay un monitor de batería en el dron que ayuda a proporcionar información de la batería al piloto para monitorear el rendimiento de la batería.

11). Cámara

Algunos drones vienen con una cámara incorporada, mientras que otros tienen una cámara desmontable. Dependiendo del tipo de cámara se puede tomar imágenes, videos y audio

2.3.2 Tipos de drones⁷. Los drones se pueden clasificar de diferentes maneras, por ejemplo, según el uso, como los drones de uso militar, de uso civil (recreacional, comercial), para toma de fotografía, los drones para cartografía aérea, los drones para vigilancia, etc. Sin embargo, una buena clasificación de drones se puede hacer según el tipo de plataforma aérea utilizada, para lo cual existen 4 tipos principales de drones.

- **Tipo 1- Drones Multirrotor**

Los drones multirrotor son los tipos de drones más populares que utilizan los aficionados y profesionales. Las aplicaciones comunes de los multirrotos son variadas, pero incluyen fotografía aérea, videovigilancia y topografía entre otras.

⁷ Circuits today, Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's. [Sitio web]. [Consultada: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>

Si está buscando tener una cámara pequeña en el aire durante un período de tiempo relativamente corto, entonces un multirrotor es el camino por seguir. Este tipo de dron brindan mucho más control sobre el posicionamiento y el encuadre de la cámara para obtener esa toma de fotografía aérea perfecta.

De los cuatro tipos de drones disponibles, los multirrotos son los más fáciles de fabricar y los más económicos de volar.

Los multirrotos se pueden clasificar adicionalmente en función del número de motores en la plataforma aérea. Los tricópteros tienen 3 motores, los cuadricópteros tienen 4 motores, los hexacópteros tienen 6 motores y los octocópteros tienen 8 motores. Los cuadricópteros son los más populares y ampliamente utilizados.

Los multirrotos tienen sus desventajas. La principal limitación es el tiempo de vuelo limitado, la resistencia y la velocidad reducidas. No son adecuados para aplicaciones de topografía, cartografía o inspección de larga distancia. El problema principal aquí es que la mayor parte de la energía, generalmente de una fuente de batería, se usa para mantener el dron en una posición de vuelo estable. Actualmente, los rotores múltiples solo son capaces de realizar tiempos de vuelo máximos de 20 a 30 minutos con una carga útil mínima.

- **Tipos 2 - Drones de ala fija**

Los drones de ala fija son uno de los tipos de drones que utilizan el mismo principio que utilizan los aviones para generar sustentación utilizando un ala en lugar de motores generadores de empuje vertical. La sustentación vertical se genera como consecuencia del movimiento de avance del ala a través del aire, lo que la convierte en una forma más eficiente de generar sustentación vertical.

Los drones de ala fija pueden atravesar largas distancias, trazar mapas de áreas más amplias y permanecer cerca de puntos de interés. Junto con la mayor eficiencia de generación de empuje, los drones de alas fijas pueden utilizar motores de gasolina ofreciendo una elevada autonomía de vuelo.

El principal inconveniente de los aviones de ala fija es su incapacidad para mantenerse sobre un punto de interés, lo que los descarta para tomar fotografías y videos aéreos. Para poner los drones de ala fija en el aire es una pista o una catapulta. Para recuperar el dron, necesitarás una pista, un paracaídas o una red para recuperarlos de forma segura.

Con un ala fija, la generación de imágenes no es una tarea tan sencilla como apuntar y tomar una imagen con la cámara. Habrá adquirido cientos de miles de imágenes durante el vuelo que deben unirse para generar la imagen final en mosaico.

- **Tipo 3 - Drone helicóptero de un solo motor**

Los drones de helicópteros de un solo motor generan empuje de manera más eficiente sobre los motores múltiples y pueden ser propulsados por un motor de gasolina para tiempos de vuelo más largos. Un motor más grande que gira lentamente genera empuje de manera más eficiente. Esta es la razón por la que los cuadricópteros de larga duración tienen un gran diámetro de hélice.

Si la aplicación requiere desplazar una gran carga útil, o si necesita una combinación de gran resistencia con vuelo hacia adelante, entonces un helicóptero de un solo rotor es perfecto.

Existe el inconveniente de una mayor complejidad, costo, vibración y peligro de las grandes aspas giratorias. Se debe tener especial cuidado para evitar cualquier lesión causada por el rotor en rotación.

- **Tipo 4 - drones híbridos de ala fija**

Se está desarrollando una nueva categoría de drones híbridos que pueden despegar y aterrizar verticalmente. Estos combinan los beneficios de los UAV de ala fija con la capacidad de flotar.

Algunos de estos conceptos de drones híbridos son esencialmente diseños de alas fijas con un motor de elevación vertical.

Actualmente, la oferta de drones híbridos de ala fija disponibles en el mercado es mínima. Sin embargo, puede esperar ver más de estos tipos de diseños a medida que avanza la tecnología.

2.4 INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual es el método no destructivo de ensayo más antiguo, básico e importante. Es el proceso de examinar un sistema, equipo o componente a simple vista para buscar fallas. No requiere ningún equipo excepto el ojo desnudo de un inspector capacitado. La inspección visual es un método común de control de calidad, adquisición de datos y análisis de datos.

Para llevar a cabo una adecuada inspección visual es necesaria una iluminación correcta de la superficie que se desea examinar, así como de todo el campo de visión del inspector. Para llevar a cabo inspecciones visuales se requiere formación sobre el producto y el proceso, las condiciones de funcionamiento previstas y los criterios de aceptación. Las cámaras resultan indispensables para documentar los resultados de las inspecciones visuales

Para asegurar que los activos funcionen de manera eficaz es necesario detectar a tiempo posibles inicios de falla, con el ánimo de eliminar o mitigar el riesgo que la falla se materialice, por lo cual una de las tareas de mayor importancia en el mantenimiento es la inspección visual

Para la interpretación y evaluación de los deterioros – daños es fundamental el conocimiento del material, proceso de fabricación, cinemática y cinética de los componentes, sollicitaciones mecánicas, historial del equipo, rutinas de mantenimiento condiciones medioambientales de operación, tiempo de servicio, etc.

Al realizar una inspección visual se pueden evidenciar discontinuidades, que corresponden a un cambio o interrupción en la homogeneidad del material o componente, dichos cambios pueden corresponder a grietas, huecos, coloraciones, cambio de geometría o elementos faltantes entre otros.

Si una discontinuidad excede los criterios de aceptación establecidos, se clasifica como defecto y podría conllevar a que el equipo o componente falle.

La inspección visual se puede utilizar para el registro de superficies internas y externas de una variedad de sistemas, equipos y componentes industriales. La inspección visual es simple y menos avanzada tecnológicamente en comparación con otros métodos, pero es considerado el método de inspección más importante. Comparado con otros métodos, es mucho más rentable y fácil de realizar. También es una de las técnicas más confiables. Un inspector bien capacitado puede detectar la mayoría de los signos de daño.

Los programas de mantenimiento preventivo que incluyen inspecciones visuales periódicas son la clave para encontrar problemas pequeños o potenciales antes de que se conviertan en grandes problemas. Al identificar problemas y repararlos se extenderá la vida útil de los activos.

Normalmente los equipos manifiestan sus problemas a través de señales perceptibles al ser humano por medio de los sentidos, por lo que es de suma importancia estar familiarizado con las condiciones normales de operación del equipo, por ejemplo un equipo tendrá un ruido característico bajo condiciones de operación normal, pero ante algún problema o anomalía es posible que se manifieste por medio de un registro diferente en su ruido, lo mismo sucede con el olor emitido por el sistema en operación o manifestaciones por medio de cambios en temperatura, pero el sentido humano más importante para detectar alguna anomalía en un equipo o componente es el sentido de la vista, ya que podemos apreciar las manifestaciones iniciales de una falla potencial, tales como grietas, coloraciones, desalineamientos.

3. MARCO NORMATIVO

Actualmente en Colombia la normativa vigente para drones se rige por el Reglamento Aeronáutico de Colombia, emitido por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – UAEAC, Oficina de Transporte Aéreo – Grupo de Norma Aeronáuticas en la RAC 91 – Reglas Generales de Vuelo y de Operación, correspondiendo al apartado Operación de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas – UAS en el Apéndice 13, estando a la fecha vigente la RAC-91 – Enmienda 4 con fecha Junio 2020.

En la industria de petróleo y gas el ente regulador es el Instituto Americano del Petróleo – API por sus siglas en inglés, en cuanto a lo relacionado con el uso de drones, el API ha publicado en el año 2019 una Guía para desarrollar un programa de sistemas de aeronaves no tripuladas “Guide to developing an unmanned aircraft systems program”.

Las publicaciones de API necesariamente abordan problemas de naturaleza general, por lo cual por lo cual la recomendación es revisar las leyes y regulaciones locales, estatales y federales para abordar circunstancias particulares.

La guía desarrollada por el API está orientada en ayudar a las empresas de la industria del petróleo y el gas natural a identificar las preguntas que deberían plantearse a medida que desarrollan programas de UAS, ya sea internamente, externamente o como un híbrido.

3.1 LEGISLACIÓN COLOMBIANA PARA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS⁸

Inicialmente se revisará la legislación vigente en Colombia para el uso de drones, y a partir de dicha revisión se generará una lista de verificación de los requerimientos legales

La República de Colombia es miembro de la Organización de Aviación Civil Internacional, La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – UAEAC, como autoridad aeronáutica de la República de Colombia, en cumplimiento del mandato contenido en el mencionado Artículo 37 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, y debidamente facultada por el artículo 1782 del Código de Comercio, el artículo 68 de la Ley 336 de 1996 y el artículo 5º del Decreto 260 de 2004, ha expedido los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia – RAC con fundamento en los referidos Anexos Técnicos al Convenio sobre Aviación Civil Internacional.

Según la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil - UAEAC, Oficina de Transporte Aéreo - Grupo de Normas Aeronáuticas, Reglamentos Aeronáuticos de Colombia en su RAC 91 correspondiente a Reglas Generales de Vuelo y de Operación, Enmienda 4 con fecha Junio 2020, en su Apéndice 13, hace referencia a Operación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas – UAS.

A partir de la RAC 91 se extraerá un resumen de las definiciones y abreviaturas más relevantes y que aplican para la inspección visual de UBM por medio de drones.

⁸ AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA, Reglamento Aeronáutico de Colombia, RAC 91, Reglas generales de vuelo y de operación, 2020, p. 258 - 292

- **Abreviaturas:**

AGL Sobre el nivel del terreno (altura).

MTOW Peso (masa) máximo al despegue.

RPA Aeronave pilotada a distancia.

RPAS Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia.

RTH Regreso al punto de origen.

UA: Aeronave no tripulada.

UAS Sistemas de aeronaves no tripuladas.

Nota. – La expresión UAS incluye las expresiones UAV, UAS, RPA, RPAS, VANT, DRON o DRONE, indiferentemente de su principio de vuelo o propulsión.

UAV Vehículo aéreo no tripulado.

VANT Vehículo aéreo no tripulado.

VLOS Operación con visibilidad directa visual.

VMC Condiciones meteorológicas visuales.

- **Definiciones:**

Carga útil UAS. La cantidad de peso que el vehículo es capaz de elevar y transportar, aparte de su propio peso y el de sus baterías.

Drone – Dron. Expresión genérica para referirse, indiferentemente, a cualquier aeronave no tripulada o remotamente pilotada.

Espacio aéreo controlado. Espacio aéreo de dimensiones definidas dentro del cual se facilita el servicio de control de tránsito aéreo, de conformidad con la clasificación del espacio aéreo.

RPA - Aeronave pilotada a distancia. Aeronave no tripulada que es pilotada desde una estación de pilotaje a distancia. Una RPA es una aeronave pilotada por un “piloto remoto”, emplazado en una “estación de piloto remoto” ubicada fuera de la aeronave (es decir en tierra, en barco, en otra aeronave, en el espacio, etc.), quien monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa en la conducción segura de la aeronave durante todo su vuelo. Una RPA puede poseer varios tipos de tecnología de piloto automático, pero, en todo momento, el piloto remoto puede intervenir en la gestión del vuelo.

Piloto remoto. Persona designada por el explotador para desempeñar funciones esenciales para la operación de una aeronave no tripulada durante el tiempo de vuelo.

Return to Home (RTH). Modo operacional en el que la aeronave no tripulada regresa al punto de origen.

Techo de vuelo. Altitud máxima utilizable de una aeronave

Visibilidad. Distancia determinada por las condiciones atmosféricas y expresada en unidades de longitud, a que pueden verse e identificarse durante el día objetos prominentes no iluminados y durante la noche objetos prominentes iluminados.

Zona poblada. Área donde habitan personas, incluyendo sus viviendas, centros de trabajo y lugares en los que realizan actividades recreacionales y sociales. Incluye edificaciones, calles, plazas, playas y toda infraestructura o espacio público utilizado frecuentemente por un colectivo humano.

3.1.1 Clasificación de las operaciones con UAS. Las operaciones con UAS se clasifican, de acuerdo con el riesgo operacional, así:

Clase A (abierta). Corresponde a la operación de UAS y que cuenten con un MTOW superior a 250 gr y de hasta 25 kg.

Clase B (regulada). Corresponde a la operación de UAS que no se encuentren dentro de la Clase A y que cuenten con un MTOW superior a 25 kg y de hasta 150 kg.

Clase C (certificada – RPAS). Corresponde a la operación de UAS con MTOW superior a 150 kg

Para la tarea de inspección de UBM el dron a utilizar correspondería a la clase A ya que para inspección el dron a utilizar es un Tipo 1 – Drone multirrotor .

3.1.2 Limitaciones de operación de los UAS de Clase A. Para operar el dron con el cual se realizará la inspección de la UBM se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- La UA deberá tener un MTOW de hasta 25 kg.
- La UA no deberá exceder, en su velocidad, de 50 MPH (44 kt u 80 km/h o 22 m/seg).
- El operador deberá mantener la aeronave no tripulada en el alcance de línea de vista (VLOS) en un radio máximo de operación de 500 m horizontales durante todas las fases del vuelo. Si la pierde, deberá interrumpir inmediatamente la operación.
- La operación no podrá efectuarse directamente sobre público, reuniones de personas al aire libre, aglomeraciones de edificios, ciudades u otras áreas pobladas o congestionadas.
- La totalidad de la operación deberá llevarse a cabo solamente en horas diurnas, desde 15 minutos después de la salida del sol y hasta 15 minutos previos a la puesta del sol.
- Todo vuelo deberá efectuarse a una altura no superior de 400 ft (123 m AGL) sobre tierra o sobre agua.

- Las condiciones de visibilidad no deberán ser inferiores a 5 km, medidos desde la ubicación de la estación de control del UAS.
- La distancia mínima de las nubes respecto de la UA no podrá ser menor de 500 ft (150 m).
- La operación solamente podrá realizarse dentro de espacio aéreo Clase G (no controlado).
- No se podrá operar desde un aeródromo o en sus proximidades dentro de un radio de 9 km.
- No se podrá operar desde un helipuerto o en sus proximidades dentro de un radio de 3 km.
- Una persona solamente podrá operar un UAS a la vez.
- No deberá realizarse la operación desde un vehículo terrestre o acuático o aeronave en movimiento.
- No se podrán realizar operaciones autónomas.
- No se podrán realizar operaciones dentro de un radio de 1 km alrededor del perímetro de bases militares o de policía, cárceles, infraestructura crítica o de cualquier aeronave tripulada en operación.
- No se podrán realizar operaciones a menos de 3,6 km (2 NM) de áreas fronterizas ni traspasar límites fronterizos con Estados vecinos.

3.1.3 Condiciones de operación de los UAS de Clase A. Antes de iniciar un vuelo, el operador deberá verificar el ambiente operacional, considerando riesgos hacia las personas y propiedades en la vecindad inmediata, tanto en la superficie como en el aire, incluyendo las condiciones meteorológicas locales reinantes, clase de espacio aéreo, restricciones de vuelo en la zona, la ubicación de personas y propiedades y cualquier otro posible peligro en la superficie.

-El operador deberá cerciorarse de que cualquier persona que participe en la operación UAS se encuentre informada acerca de las condiciones de operación, procedimientos de emergencia, roles y responsabilidades, y peligros potenciales.

-El operador deberá cerciorarse de que el sistema de enlace y comunicación entre la estación de control en tierra y la UA esté funcionando apropiadamente.

-El operador deberá cerciorarse de que el aparato y su sistema de control a distancia cuentan con disponibilidad suficiente de la energía requerida para la ejecución de la operación.

-El operador deberá cerciorarse de que el tiempo total de vuelo en una operación no exceda el 80% de la autonomía total establecida por el fabricante o constructor del UAS. Si este parámetro no ha sido definido por el fabricante o constructor, el explotador deberá estimarlo con base en pruebas hechas por él al sistema.

-Si el operador percibe la proximidad de una aeronave tripulada, deberá inmediatamente recuperar o aterrizar la UA.

-Si en el espacio aéreo donde esté operando una UA se encontrare otra UA, ambos operadores deberán efectuar inmediatamente las coordinaciones necesarias para evitar cualquier riesgo de interferencia o colisión.

-Si el operador evidencia que hay señales que interfieren con la operación del UAS, deberá interrumpirla inmediatamente.

-El operador deberá cerciorarse de realizar la operación dentro de las limitaciones establecidas por el fabricante.

-Nadie podrá operar un UAS mientras esté bajo la influencia de bebidas alcohólicas o drogas, prescritas o no, que puedan disminuir su capacidad para efectuar una operación segura.

3.1.4 Inscripción del propietario del UAS de Clase A. Todo propietario de UAS de la Clase A, deberá encontrarse inscrito en la base de datos que, para el efecto, lleva la UAEAC, para lo cual deberá proporcionar y mantener actualizada, en el formato y manera determinados por ella, al menos la siguiente información:

- (1) Nombre completo de la persona natural o razón social de la persona jurídica.
- (2) Número del documento de identificación (CC, RUT o NIT).
- (3) Dirección de notificación (domicilio o residencia).
- (4) Dirección de correo electrónico.
- (5) Números de teléfonos de contacto.
- (6) Marca, modelo y número de serie de cada UAS.

3.1.5 Marcación de la UA. Se debe marcar cada UA adhiriéndole una placa de identificación en la cual aparezcan de manera perfectamente legible los siguientes datos:

- (1) Nombre o razón social.
- (2) Dirección física de notificación (domicilio).
- (3) Número telefónico de contacto.

3.2 GUIA API PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE SISTEMAS DE AERONAVEAS NO TRIPULADAS⁹

⁹ API GUIDE FOR DEVELOPING AN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS PROGRAM (GUIA API PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE SISTEMAS DE AERONAVEAS NO TRIPULADAS). 2020. 32p.

Según API (American Petroleum Institute) en su guía para desarrollar un programa de sistemas de aeronaves no tripuladas - UAS, hace referencia al objetivo número uno de la industria del petróleo y el gas natural, que es la SEGURIDAD, recalcando que el enfoque para la integración de UAS debe diseñarse con ese objetivo en mente.

Al igual que con cualquier operación introducida en entornos industriales complejos, el caso de uso debe entenderse bien para determinar el valor potencial, los impactos y el caso de seguridad.

Si bien los UAS pueden brindar muchas ventajas en toda la industria, limitando la exposición del personal, reduciendo costos y mejorando los tiempos de respuesta, puede haber problemas externos que prohíban su uso o disminuyan el valor de esas ventajas.

Adicional la API recomienda que antes de operar un UAS, una empresa debe desarrollar un manual de seguridad basado en el equipo y la plataforma seleccionados. Debe haber un manual para cada equipo utilizado. El contenido puede incluir instrucciones sobre el funcionamiento del UAS, su hardware, software y posibles planes de contingencia. El manual también podría incluir puntos de contacto del fabricante en caso de que el operador necesite comunicarse con ellos para solucionar un problema. Los manuales de seguridad son un elemento crítico de un programa que se debe desarrollar antes de comenzar las operaciones. Es posible que las empresas quieran exigir que los terceros contratados también tengan un manual sólido.

3.2.1 Seguro y responsabilidad. El seguro y la responsabilidad son factores críticos al desarrollar un programa de UAS. Las empresas deben considerar, con el asesoramiento de un asesor legal, qué cobertura de seguro y responsabilidad se necesita antes de operar. Las empresas también deben considerar si un proveedor externo también está asegurado de manera similar o podría estar

cubierto por el plan de la empresa. El seguro de UAS comercial puede cubrir accidentes potenciales que involucren daño o pérdida del UAS, responsabilidad del fabricante por productos, daños físicos, lesiones personales y cobertura para los operadores de UAS.

3.2.2 Normas y procedimientos de vuelo. Una empresa debe considerar el desarrollo de sólidos estándares de vuelo, procedimientos y listas de verificación basados en su entorno operativo y sistemas de aeronaves únicos.

Deben desarrollarse normas, procedimientos y listas de verificación de vuelo tanto para las condiciones de funcionamiento normales como para las situaciones meteorológicas anormales o extremas.

3.2.3 Planes de Contingencia. Es posible que las empresas deban considerar, al implementar una solución UAS, lo que puede ser necesario si algo sale mal. La pérdida de señal, energía de la batería o la vista de un UAS podría potencialmente resultar en impactos dañinos para los trabajadores, activos u operaciones. La planificación de cómo responder, si algo sale mal, puede acelerar la recuperación de la pérdida de control, así como la respuesta a cualquier impacto potencial más allá del propio UAS. El piloto remoto debe considerar planificar escenarios potenciales para cada operación, para desarrollar un plan de contingencia que pueda ser probado y examinado con todos los involucrados en la operación.

3.2.4 Pruebas y autorización. Las empresas deben considerar construir en una fase de prueba y autorización antes de comenzar las operaciones en vivo. Las ejecuciones de prueba podrían incluir pilotos que prueben equipos seleccionados en diversas condiciones climáticas y de viento en todas las misiones seleccionadas utilizando procedimientos de vuelo aprobados por la compañía.

3.2.5 Seguridad de los datos. Los sistemas de aeronaves no tripuladas brindan una gran oportunidad para crear eficiencias, reducir costos y aumentar la seguridad en la industria del gas natural y el petróleo. Sin embargo, también plantean riesgos potencialmente importantes. La posible falta de seguridad del software, hardware y almacenamiento presenta vulnerabilidades y riesgos a medida que estos sistemas se implementan en toda la industria. Por lo tanto, las empresas deben blindarse para tratar y proteger los datos de forma segura.

4. METODOLOGÍA

En mantenimiento de activos la inspección visual es una tarea de suma importancia, por lo cual para la tarea específica de inspección visual remota de UBM se deben contemplar todos los aspectos requeridos para obtener los resultados necesarios para generar un diagnóstico adecuado. Ya que la cámara del dron actuará como los ojos del inspector, se debe asegurar que las evidencias recolectadas sean de calidad y correspondan a los puntos de interés necesarios para poder proporcionar un diagnóstico apropiado de la unidad inspeccionada.

Para obtener unos resultados exitosos en la inspección remota de UBM se debe tener claro el alcance de la inspección, y siempre se deberá planificar, diligenciar y verificar las listas de chequeo, procedimiento, autorizaciones, notificaciones, ubicación de la unidad a inspeccionar, licencias y permisos para el equipo de trabajo.

El plan de inspección visual remota específico para el equipo de superficie de las UBM, debe contemplar una serie de verificaciones y gestiones previas, con el fin de evitar en lo posible cualquier improvisación que conlleve a un accidente, un mal procedimiento de la tarea, recopilación excesiva o defectuosa de información y/o violación de la normatividad entre otras, y adicional debe establecer los componentes y puntos de interés de los cuales se tomará registro fotográfico y de video, por medio de la inspección visual remota.

La metodología para la inspección de UBM con tecnología de UAS, abordará también los criterios de selección del sistema de aeronaves no tripuladas UAS, para la aplicación específica de inspección visual remota de unidades de superficie de la Unidad de Bombeo Mecánico - UBM.

Por último, se preparará una guía visual en la cual se relacionarán las discontinuidades características que se pueden evidenciar en las UBM.

Ilustración 4. Plan de inspección



4.1 PLANIFICACIÓN

4.1.1 Criterio de selección del dron para la tarea específica de inspección de UBM. El tipo de dron adecuado para las condiciones dadas de la tarea de inspección de UBM, debe corresponder al tipo 1-Dron multirrotor, ya que el objetivo es tomar fotos y videos durante periodos de tiempo cortos, con este tipo de dron se tendrá un mayor control de posicionamiento y un encuadre de precisión para obtener toma de fotografía aérea perfecta. Un multirrotor de 4 motores es adecuado para la labor que se pretende llevar a cabo.

- **Parámetros relevantes al momento de seleccionar el dron para la tarea de inspección visual remota de UBM**

-Cámara: Para obtener fotografías y filmaciones de buena calidad, se debe asegurar que la cámara tenga una alta resolución, ya que durante el análisis de las evidencias obtenidas será posible realizar acercamientos a zonas de interés.

-Autonomía de vuelo: Dependerá de la batería, en general la duración de las baterías es en promedio 30 minutos, por lo cual se deben tener pilas de repuesto para obtener mayores tiempos de inspección.

-Peso: Los drones son bastante ligeros, pero es preferible seleccionar los de menor peso.

-Portabilidad: Es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que los de menor tamaño serán más fáciles de transportar.

-Motores brushless: Se debe seleccionar este tipo de motores, ya que ofrecen mejor rendimiento y vida útil más larga.

-GPS integrado: El equipo a seleccionar debe contar con GPS integrado para en caso de ser necesario activar el modo RTH -Regreso al punto de origen y para mejora su estabilidad general y habilidades de navegación.

-Gimbal: El Gimbal o cardán integrado es un soporte que mantiene la cámara estable mientras se mueve con vientos fuertes y altitudes elevadas. Por lo cual para la tarea de inspección de UBM se debe incluir este soporte.

-Sensor para evitar obstáculos: Este sensor ayudara a eludir obstáculos, lo cual se traduce en protección del equipo de estrellarse contra ciertos obstáculos.

-Rango: El alcance de un drone significa qué tan lejos puede moverse antes de que se pierda el control.

- **Comparativo entre diferentes modelos de drone**

El líder mundial en fabricación de drones es la empresa DJI, la cual ofrece diferentes modelos de drones para las distintas necesidades. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de cinco de sus modelos ofrecidos.

Tabla 1. Comparativo entre diferentes modelos de drones DJI.

Main Features	MAVIC 2 PRO	PHANTOM 4 PRO	MAVIC AIR	MAVIC PRO PLATNUM	SPARK
Weight	907g	1375g	430g	734g	300g
Max Flight Time	31 minutes	30 minutes	21 minutes	30 minutes	16 minutes
Max Speed	72 kph	72 kph	68.4 kph	65 kph	50 kph
Max Video Resolution	4K	4K	4K	4K	1080p
Max Photo Resolution	20 MP	20 MP	12 MP	12 MP	12 MP
Max Transmission Distance	8 km	7 km	4 km	7 km	2 km
Max Service Ceiling Above Sea Level	6 km	6 km	5 km	5 km	4 km
Max Flight Distance (No Wind)	18 km	14 km	10 km	13 km	9 km
Internal Storage					
Flight Battery Capacity	3850 mAh	5870 mAh	2375 mAh	3830 mAh	1480 mAh

Fuente: DJI Consumer Drones Features Comparison Template. [Sitio web]. [Consultada: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.edrawsoft.com/template-dji-consumer-drones-features-comparison.html>

De la tabla comparativa se puede determinar que los modelos adecuados a seleccionar para la tarea de inspección de UBM es el Mavic 2 Pro y el Phantom 4 Pro, ya que se tendría la mayor autonomía de vuelo y la mayor resolución de la cámara, que son los parámetros más importantes para la tarea a ejecutar.

4.1.2 Determinación de componentes y puntos de interés a inspeccionar en la UBM. Los fabricantes de unidades de bombeo mecánico coinciden en la necesidad de realizar inspecciones operativas periódicas de las partes y componentes susceptibles de falla, lo cual es esencial para mantener la garantía dada por el fabricante, prolongar la vida útil de la unidad y ante todo evitar fallas y accidentes.

En las Unidades de Bombeo Mecánico – UBM todo el conjunto de apoyo estructural, el motor y el reductor están diseñados para proporcionar años de

servicio sin problemas, siempre y cuando el montaje y operación sean apropiados, y las tareas de mantenimiento se ejecuten en los intervalos recomendados.

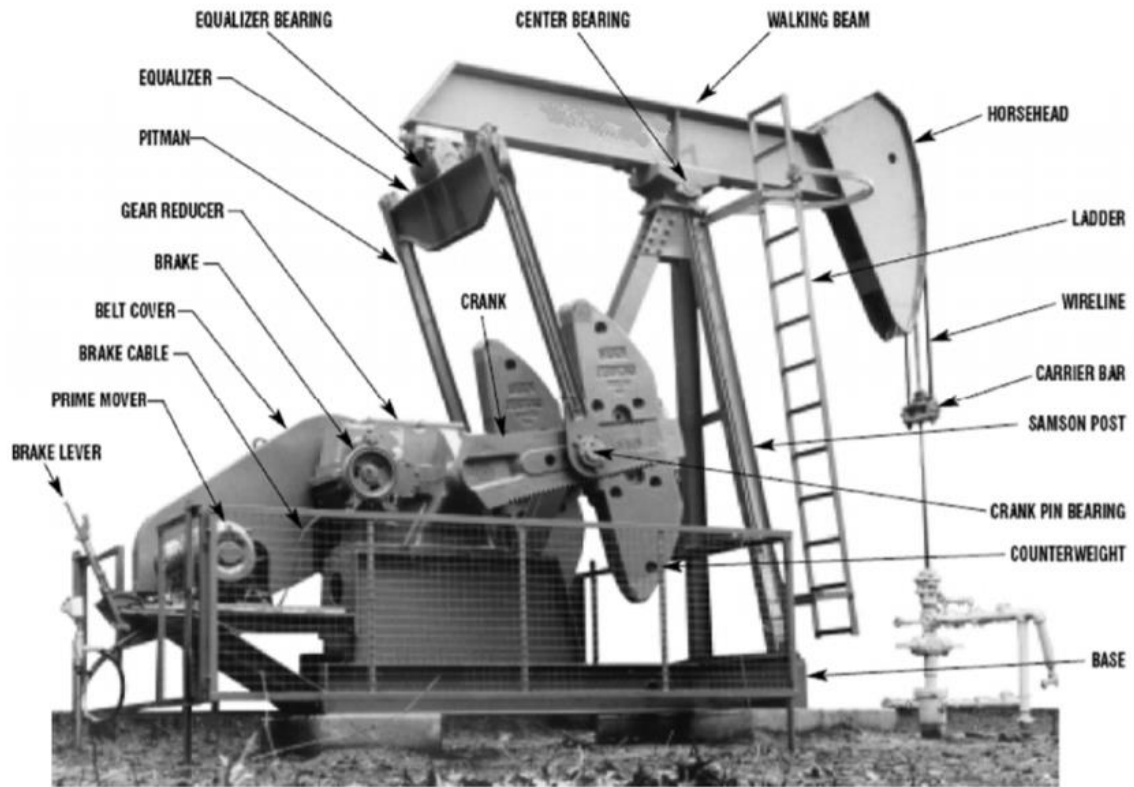
Para asegurar un diagnóstico adecuado de mantenimiento de las UBM, es necesario seguir las recomendaciones de fabricante y las experiencias en campo para determinar las partes de interés del equipo de superficie que ameritan que se les realice inspección visual periódica.

- **Descripción de los componentes susceptibles de falla en las UBM**

En la UBM el equipo de superficie que impulsa la bomba subterránea consta en términos generales de un motor primario (generalmente un motor eléctrico), una caja de engranajes y una viga fijada a un poste pivotante. El poste se llama Samson post, y la viga normalmente se llama viga móvil (walking beam).

La potencia del motor primario se transmite al eje de entrada de un reductor de engranajes mediante una transmisión por correa. El eje de salida del reductor de engranajes impulsa el brazo de la manivela. El movimiento rotatorio del brazo de la manivela se convierte en un movimiento oscilatorio por medio de la viga viajera (walking beam) a través de un brazo pitman. El caremulo (horsehead) y la disposición del cable de suspensión (wireline) se utilizan para asegurar que la transmisión a la sarta de varilla sea vertical en todo momento. Bajo superficie la sarta de varilla mueve el émbolo en el extremo inferior del fondo del pozo, que transmite energía al fluido para que sea conducido a la superficie. La barra lisa y los prensaestopas (stuffing box) se combinan para mantener un sello de alta eficiencia en la superficie y, por lo tanto, obligan al fluido a fluir hacia la conexión en "T" justo debajo del prensaestopas.

Ilustración 5. Componentes principales de la unidad de bombeo mecánico



Fuente: Estándar API 11E, [Sitio web]. [Consultada: 05 Febrero de 2020].

Disponible en: <https://www.api.org/~media/Files/Certification/Monogram-APIQR/Purchasing%20Guidelines/11E%2019th%20Edition%20Purch%20Guidelines%20R2%20201401.pdf>

-Motor (Prime mover): La función del motor es suministrar al sistema la energía mecánica que es transmitida a la bomba y usada para levantar el fluido hasta superficie a la tasa de producción deseada.

-Caja Reductora (Gear reducer): Se utiliza para convertir un movimiento rotatorio de alta velocidad (altos RPM) y bajo torque proveniente del motor en un movimiento rotatorio de baja velocidad (bajos RPM) y torque alto, ya que son necesarios bajos RPM para accionar la unidad de bombeo.

-Manivela (Crank): Es la responsable de transmitir el movimiento de la caja de engranajes a la biela de balancín (brazo pitman), que está unida a ellos por pines sujetos al eje de baja velocidad de la caja de engranajes. Eslabón impulsor que se encuentra entre el eje de salida del reductor de engranajes y el brazo pitman.

-Unidad de Contrapesos (Counterweight): Se utiliza para balancear las fuerzas desiguales que se originan en el motor durante las carreras ascendente y descendente del balancín a fin de reducir la potencia máxima efectiva y el momento de rotación.

-Biela (Pitman): eslabón de conexión en el mecanismo del grupo de bombeo entre las manivelas y el ecualizador.

-Ecualizador (Equalizer): conecta los brazos pitman a la parte trasera del walking beam.

-Balancín petrolero (Walking Beam): es el encargado de almacenar energía en la carrera descendente y entregar energía en la carrera ascendente

-Poste Maestro (Samson Post): Es el encargado de soportar el Walking Beam

-Caremulo (Horsehead): Es el componente diseñado para transmitir fuerza y movimiento desde el Walking Beam hasta el wireline. Su forma es tal que el movimiento impartido se dirige verticalmente por encima del cabezal del pozo, lo que permite que la varilla pulida se mueva sin cargas laterales indebidas.

-Prensaestopas (Stuffing box): consiste en una cámara cilíndrica que contiene los elementos de empaque que se ajustan a la barra pulida permitiendo sellar el espacio existente entre la barra pulida y la tubería de producción para evitar el

derrame de crudo producido, tiene como función principal evitar daños en la varilla pulida y evitar fugas de aceite

-Barra Lisa: se encarga de soportar el peso de la Sarta de varillas de la bomba y del fluido dentro de la tubería y transmite el movimiento alternativo desde la unidad de superficie a la sarta de varillas.

4.1.3 Guía de discontinuidades comunes en equipo de superficie de UBM.

Generalmente las etapas iniciales de una falla o las condiciones anormales de un equipo o componente se revelan por medio de diferentes manifestaciones que pueden ser percibidas por los sentidos del cuerpo humano. Para el caso de inspección visual remota, la cámara conectada al dron reemplaza el ojo del inspector.

Las manifestaciones más comunes de discontinuidades que se presentan en las UBM se relacionan con grietas, coloraciones de herrumbre, coloraciones de calentamiento, fugas, componentes de sujeción sueltos, rotos o faltantes, deficiencias de anclaje, desalineamiento, desfase, posición inadecuada de componentes, desalineamiento y deformación entre otras.

Para poder detectar las discontinuidades se deben tomar registros fotográficos y de video de detalle y desde diferentes ángulos, para con este input el inspector pueda posterior a la inspección buscar y detallar las posibles discontinuidades que se utilizaran en generar el reporte para el diagnóstico de mantenimiento.

Ilustración 6. Foto de UBM desde la vista superior, posterior, izquierda.



A continuación, se relacionan las manifestaciones de discontinuidades más comunes y las cuales aplican para ser detectadas por medio de inspección remota.

- **Grietas:**

Haciendo una inspección adecuada es posible detectar las grietas en la estructura o en los componentes de la unidad.

Ilustración 7. Evidencia de agrietamiento



- **Herrumbre:**

-La presencia de herrumbre puede estar relacionada con pernos flojos o mal apretados, grietas o juntas flojas.

Ilustración 8. Evidencia de herrumbre



Fuente. WEATHERFORD, Pumping Unit Services Inspection and Preventative Maintenance. 2016. 32p.

- **Grietas con herrumbre**

Debido a las condiciones de operación a la intemperie, las grietas revelan herrumbre desde su interior, lo cual facilita su detección gracias a la coloración característica de la herrumbre.

Ilustración 9. Evidencia de grieta con herrumbre proveniente del interior de la grieta.



- **Elementos de sujeción, sueltos, fracturados o faltantes**

Debido a ensambles deficientes o condiciones de operación inadecuadas, es posible que los elementos de sujeción se aflojen, se fracturen o se pierdan.

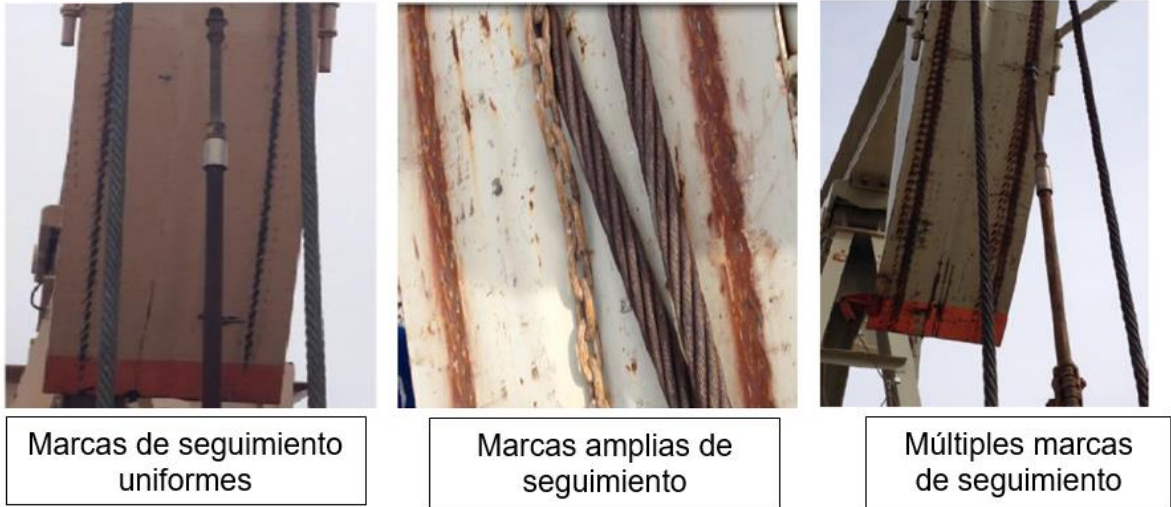
Ilustración 10. Elementos de sujeción fracturados y faltantes.



- **Marcas de seguimiento de Wireline sobre el Caremulo.**

Las marcas de seguimiento generadas por el Wireline a lo largo de la superficie de envoltura del Caremulo, indican un seguimiento adecuado si las marcas son uniformes y delgadas (ruta únicas), si se observan múltiples marcas de huellas o regiones de desgaste anchas indican desalineación, si se aprecian varias rutas de seguimiento se puede relacionar con un asentamiento desnivelado, pernos de sujeción sueltos o desplazamiento de la unidad respecto a la base.

Ilustración 11. Indicaciones de marcas de seguimiento de Wireline sobre el Caremulo.

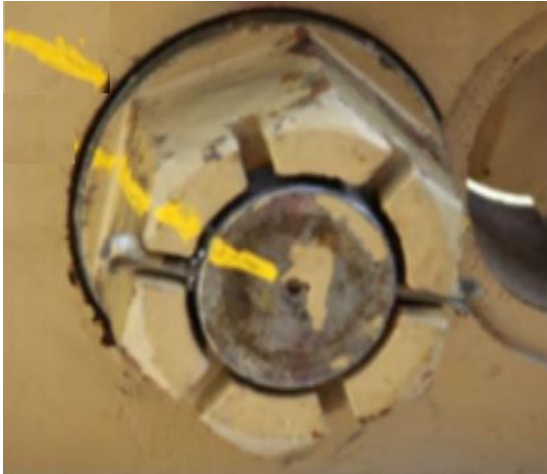


Fuente. BAKER HUGHES, Lufkin Beam Pumping Units Conventional & Reverse Mark Installation & Operations Manual. 2018. 121p.

- **Marca de coincidencia girada**

Para detectar aflojamiento de componentes de unión y sujeción, es una práctica recomendada marcar desde el medio del pasador hasta un lado de la tuerca con metal marker, con el fin de poder hacer seguimiento visual. En caso de encontrar la marca desfasada entre el perno y la tuerca es indicación de aflojamiento.

Ilustración 12. Marca de coincidencia girada.



Fuente: WEATHERFORD, Pumping Unit Services Inspection and Preventative Maintenance. 2016. 32p.

- **Movimiento relativo entre base de la unidad y la placa de fundición.**

Un movimiento relativo entre la base de la unidad y la placa de fundición de concreto indica deficiencias de anclaje

Ilustración 13 Movimiento relativo entre base de la unidad y la placa de fundición



- **Fugas.**

Las fugas por lo general se encuentran en mangueras de Lubricación o componentes lubricados, por rotura de mangueras o sellos.

Ilustración 14 Mangueras de lubricación.



Fuente. WEATHERFORD, Pumping Unit Services Inspection and Preventative Maintenance. 2016. 32p.

- **Deformación**

Generalmente las deformaciones se relacionan con montajes inapropiados, sobrecargas o defectos de fabricación

Ilustración 15 Deformación en zona de acople



4.2 DESARROLLO

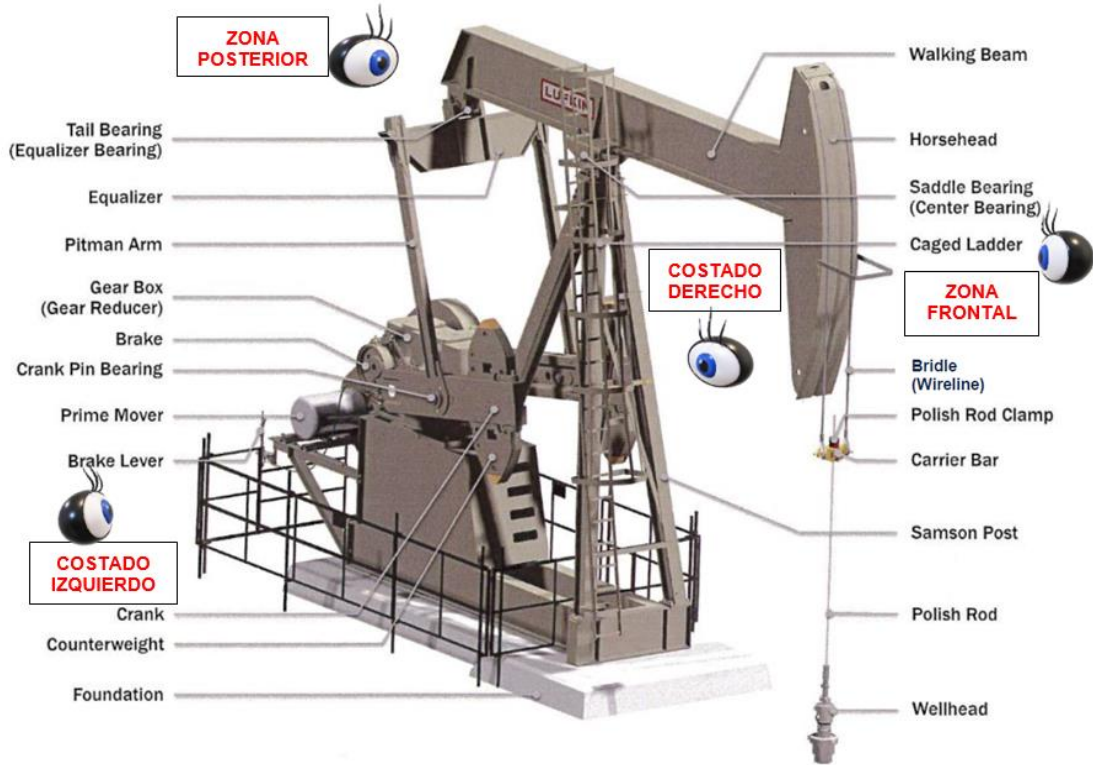
Antes de ejecutar la tarea de inspección de una UBM con tecnología de drones, es necesario realizar una serie de gestiones previas para cumplir con los requerimientos necesarios y así realizar una inspección exitosa, entre las gestiones necesarias se debe realizar una planeación, programación y plan de vuelo específicos para el pozo donde se pretende ejecutar la tarea de inspección. se debe diligenciar la documentación requerida, solicitar los permisos y autorizaciones necesarios, programar al personal requerido para la ejecución de la tarea, notificar a los órganos competentes, y realizar alistamiento de equipos entre otros.

En la fase de campo donde se desarrollará la tarea de inspección visual remota de la UBM, y luego de cumplir con toda la planificación previa requerida, se debe en ese momento conocer la ruta de inspección de la UBM y realizar el check list del dron antes del despegue.

4.2.1 Ruta de inspección remota de la UBM. Basados en la experiencia de campo y en los manuales de mantenimiento de los principales fabricantes de UBM, entre ellos Weatherford, Baker Hughes y Schlumberger, se establecen las partes de la UBM a las cuales se les debe realizar inspección visual remota y se determina a cuáles es posible realizarles dicha inspección con tecnología de dron y con la unidad en movimiento.

Para el plan de vuelo se toma como referencia las vistas frontal, posterior, derecha, izquierda y superior, correspondiendo a vista frontal la posición mirando de frente el caremulo, y a partir de este punto se ubican las demás vistas como se muestra en la figura

Ilustración 16. Referencia de las vistas de la UBM para el plan de vuelo.



Fuente: BAKER HUGHES, Lufkin Beam Pumping Units Conventional & Reverse Mark Installation & Operations Manual. 2018. 121p.

Durante la fase de vuelo la ruta de inspección debe contemplar el registro de evidencias de componentes y condiciones descrito en la tabla 2.

Tabla 2 Ruta de inspección de la UBM.

RUTA DE INSPECCION REMOTA DE LA UNIDAD DE SUPERFICIE DE LA UBM	
VISTA	COMPONENTE Y CONDICIÓN A EVIDENCIAR
VISTA FRONTAL	El Caremulo y el Ecuador estén siguiendo una línea recta.
	La alineación de base del equipo con la cabeza del

	pozo.
	El movimiento de los brazos Pitman
	Las marcas del Wireline sobre el caremulo
	Barra Lisa
	Carrier Bar
	Wireline
	Stuffing Box
VISTA SUPERIOR	Ala superior del Walking Beam, detallando especialmente zona central y ganchos de izaje
	Trayectoria del Caremulo
	Movimiento de brazos Pitman
	Movimiento de Manivela
	Movimiento de Contrapesos
COSTADO DERECHO E IZQUIERDO	Costado Caremulo
	Walking Beam, detallando alas, alma y refuerzos.
	Pierna derecha y central del Samson Post, enfocándose en las zonas de sujeción con el Walking Beam y con el Patín
	Pin Manivela
	Brazo Pitman
	Contrapeso
	Ecuilizador
	Cojinete de centro y de cola, detallando soportes y elementos de sujeción.
VISTA POSTERIOR	Movimiento del conjunto Manivela, Contrapesos, Brazos Pitman, Ecuilizador y Walking Beam
	Cojinete de cola, detallando soportes y elementos de sujeción
	Ecuilizador
-En cada vista se debe iniciar tomando evidencia desde un plano general a lo puntual	
-Tomar evidencia de todos los elementos de sujeción que sean posibles de inspeccionar con	

el dron. Adicional evidenciar fugas en mangueras y en los diferentes componentes de la UBM.
-Tomar evidencias desde diferentes ángulos, asegurando en la medida de lo posible tener registro de las soldaduras y uniones estructurales.
-Tomar registro del suelo y alrededores, con el fin de buscar componentes de sujeción, viruta, grasa, aceite, etc.

4.2.2 Check list prevuelo drone. Antes de iniciar la fase de vuelo, es necesario diligenciar el check list de verificación. En caso que alguno de los item del check list no se cumpla, es necesario darle solución para iniciar el vuelo y asegurar una inspección exitosa.

Tabla 3 Check list drone prevuelo.

CHECH LIST DRONE – PREVUELO	
	Haga una revisión del entorno donde se ejecutará la tarea
	Están las baterías completamente cargadas
	El área de despegue es segura, nivelada y estable
	Ha insertado su memoria SD
	Ha conectado su teléfono, Tablet o FPV (First Person View)
	Todos los joystich se mueven libremente y vuelven a neutral
	Están todos los swich en posiciones correctas
	Tu drone se ha conectado con el control remoto
	Todas las hélices giran libremente
	Están todos los leds encendidos sin pitidos extraños
	Tu cámara funciona y trasmite
	Haz una prueba rápida que la cámara puede grabar y tomar fotos

	Informe la ejecución de despegue a las personas presentes en el área.
--	---

4.2.3 Limitaciones de operación de los UAS de clase A.

Tabla 4 Check list limitaciones de operación.

LIMITACIONES DE OPERACIÓN DE LOS UAS DE CLASE A			
Responsable:		Fecha:	Hora:
Pozo:		Referencia Drone:	
#	Limitación	Check	Observación
1	-La UA deberá tener un MTOW de hasta 25 kg.		
2	-La UA no deberá exceder, en su velocidad, de 50 MPH (44 kt u 80 km/h o 22 m/seg).		
3	-El operador deberá mantener la aeronave no tripulada en el alcance de línea de vista (VLOS) en un radio máximo de operación de 500 m horizontales durante todas las fases del vuelo. Si la pierde, deberá interrumpir inmediatamente la operación.		
4	-La operación no podrá efectuarse directamente sobre público, reuniones de personas al aire libre, aglomeraciones de edificios, ciudades u otras áreas pobladas o congestionadas.		
5	-La totalidad de la operación deberá llevarse a cabo solamente en horas diurnas, desde 15 minutos después de la salida del sol y hasta 15 minutos previos a la puesta del sol.		
6	-Todo vuelo deberá efectuarse a una altura no superior de 400 ft (123m AGL) sobre tierra o sobre agua.		
7	-Las condiciones de visibilidad no deberán ser inferiores a 5 km, medidos desde la ubicación de la estación de control del UAS.		
8	-La distancia mínima de las nubes respecto de la UA no podrá ser menor de 500 ft (150 m).		
9	-La operación solamente podrá realizarse dentro de espacio aéreo Clase G (no controlado).		
10	-No se podrá operar desde un aeródromo o en sus proximidades dentro de un radio de 9 km.		
11	-No se podrá operar desde un helipuerto o en sus proximidades dentro		

	de un radio de 3 km.		
12	-Una persona solamente podrá operar un UAS a la vez.		
13	-No deberá realizarse la operación desde un vehículo terrestre o acuático o aeronave en movimiento.		
14	-No se podrán realizar operaciones autónomas.		
15	-No se podrán realizar operaciones dentro de un radio de 1 km alrededor del perímetro de bases militares o de policía, cárceles, infraestructura crítica o de cualquier aeronave tripulada en operación.		
16	-No se podrán realizar operaciones a menos de 3,6 km (2 NM) de áreas fronterizas ni traspasar límites fronterizos con Estados vecinos.		

4.2.4 Condiciones de operación de los UAS de clase A.

Tabla 5 Check list condiciones de operación.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS UAS DE CLASE A			
Responsable:		Fecha:	Hora:
Pozo:	Referencia Drone:		
#	Condición	Check	Observación
1	-Antes de iniciar un vuelo, el operador deberá verificar el ambiente operacional, considerando riesgos hacia las personas y propiedades en la vecindad inmediata, tanto en la superficie como en el aire, incluyendo las condiciones meteorológicas locales reinantes, clase de espacio aéreo, restricciones de vuelo en la zona, la ubicación de personas y propiedades y cualquier otro posible peligro en la superficie.		
2	-El operador deberá cerciorarse de que cualquier persona que participe en la operación UAS se encuentre informada acerca de las condiciones de operación, procedimientos de emergencia, roles y responsabilidades, y peligros potenciales.		
3	-El operador deberá cerciorarse de que el sistema de enlace y comunicación entre la estación de control en tierra y la UA esté funcionando apropiadamente.		

4	-El operador deberá cerciorarse de que el aparato y su sistema de control a distancia cuentan con disponibilidad suficiente de la energía requerida para la ejecución de la operación.		
5	-El operador deberá cerciorarse de que el tiempo total de vuelo en una operación no exceda el 80% de la autonomía total establecida por el fabricante o constructor del UAS. Si este parámetro no ha sido definido por el fabricante o constructor, el explotador deberá estimarlo con base en pruebas hechas por él al sistema.		
6	-Si el operador percibe la proximidad de una aeronave tripulada, deberá inmediatamente recuperar o aterrizar la UA.		
7	-Si en el espacio aéreo donde esté operando una UA se encontrare otra UA, ambos operadores deberán efectuar inmediatamente las coordinaciones necesarias para evitar cualquier riesgo de interferencia o colisión.		
8	-Si el operador evidencia que hay señales que interfieren con la operación del UAS, deberá interrumpirla inmediatamente.		
9	-El operador deberá cerciorarse de realizar la operación dentro de las limitaciones establecidas por el fabricante.		
10	-Nadie podrá operar un UAS mientras esté bajo la influencia de bebidas alcohólicas o drogas, prescritas o no, que puedan disminuir su capacidad para efectuar una operación segura.		

4.3 REPORTE

El encargado de realizar el reporte de la inspección como herramienta para el diagnóstico de mantenimiento, debe tener las capacidades y conocimiento integral del equipo, desde las áreas de diseño, materiales de fabricación, procesos de manufactura, montaje de la unidad, operación y rutinas de mantenimiento. Se debe integrar la data del equipo en cuanto a variables de operación, registros de variables monitoreadas y apoyarse en las evidencias recolectadas a través de la

inspección remota. El reporte debe contar con el soporte registros analizados para emitir un reporte en el cual se plasmen los resultados del análisis y que sirva como input para el diagnóstico para mantenimiento. A partir del reporte se debe determinar si las discontinuidades halladas son fuente de falla o por el contrario son falsas discontinuidades.

5. PLAN DE INSPECCIÓN VISUAL REMOTA

Basados en la reglamentación aeronáutica Colombia, en las recomendaciones dadas por el Instituto Americano del Petróleo, por las directrices dadas en los manuales de los fabricantes de UBM y con la experiencia de campo, se desarrolla un plan de inspección visual remoto con tecnología de drones en equipos de superficie de UBM.

Cada inspección tiene sus propios desafíos únicos.

5.1 OBJETIVO

El objetivo de la inspección de UBM con tecnología de drones es ejecutar la tarea de una forma segura para el personal involucrado, disminuir costos y tiempos de inspección, cumpliendo con los requerimientos legales y siguiendo las directrices del API (American Petroleum Institute).

5.2 ALCANCE

Aunque la capacidad del ojo humano es irremplazable, se pretende con la cámara del drone tomar evidencias de la mayor calidad posible que sirvan como input de análisis para el inspector. Es de tener en cuenta que, debido a las condiciones de inspección, y adicional se pretende realizar la inspección con la unidad en operación, se tendrán componentes o puntos de interés a los cuales no será posible tomarles evidencia.

Identificación de las unidades a inspeccionar

5.3 RESPONSABILIDADES

El líder del sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo se debe encargar del análisis y generación de protocolos de seguridad para la tarea en campo.

El operador del dron debe asegurar que la información recolectada corresponda a las partes de interés, bajo la calidad requerida. Adicional es el encargado de la custodia y almacenamiento apropiado de la información recolectada.

El inspector será el encargado de analizar la información recolectada y emitir un reporte con los hallazgos.

El departamento de mantenimiento utilizara el reporte como input para el diagnóstico de la UBM analizada.

5.4 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN DE REFERENCIA.

En todo momento se deben cumplir la legislación emitida por el ente encargado que para el caso de Colombia es la Aeronáutica Civil,

- API, Guide for Developing an Unmanned Aircraft Systems Program 2019.

-Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC 91, Reglas generales de vuelo y de operación, Aeronáutica Civil, 2020

5.5 DURACIÓN PREVISTA DE LA INSPECCIÓN.

Se contempla realizar la inspección en un lapso de 2 horas, teniendo en cuenta que previo al despegue del dron se deben realizar los protocolos de seguridad, verificaciones y check list de prevuelo. La fase efectiva de vuelo corresponderá a una hora, por lo cual se deben tener batería de repuesto, ya que el tipo de dron para esta aplicación ofrece autonomías de vuelo de 25 minutos aproximadamente.

5.6 FECHA Y LUGAR DONDE SE REALIZARÁ LA INSPECCIÓN.

Es necesario conocer con antelación la ubicación, fecha y hora de la inspección para de esta manera realizar el plan de vuelo específico y poder gestionar las autorizaciones y notificaciones necesarias.

5.7 IDENTIDAD DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INSPECTOR.

Es necesario registrar todos los miembros del equipo que se desplazaran al sitio donde se realizara la inspección de la UBM, todos deben tener su documentación y autorizaciones en regla.

5.8 REQUISITOS GENERALES

-Equipo y accesorios: El dron debe corresponder con los parámetros requeridos para la tarea específica de inspección de UBM, por lo cual o recomendable es un dron Tipo 1, multirrotor de 4 motores, equipado con cámara con mínimo 20 megapíxeles, autonomía de vuelo mínima de 30 minutos.

-Verificación del check list de limitaciones de operación del dron. Tabla 4 del presente documento.

-Verificación del check list de verificación de condiciones de operación. Tabla 5 del presente documento.

-Verificación del check list de prevuelo del dron. Tabla 3 del presente documento.

5.9 ÁREAS DE INSPECCIÓN

Para asegurarse que los componentes y zonas de interés a inspeccionar sean registrados, se debe seguir la ruta de inspección propuesta en la tabla 2 del presente documento.

5.10 DISCONTINUIDADES QUE DEBEN SER DETALLADAS

Para identificar las discontinuidades de interés que deben ser detalladas, se debe seguir la guía de discontinuidades comunes en equipo de superficie de UBM, correspondiente al numeral 4.1.3 del presente documento.

5.11 EVALUACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES REGISTRADAS

Los hallazgos capturados por medio de la cámara del dron, deben ser evaluados por un inspector con las capacidades y conocimiento integral del equipo, para tener los criterios para interpretar y determinar si una discontinuidad es realmente una fuente de falla o por el contrario es una falsa discontinuidad que con el tiempo no afectará la integridad del equipo.

5.12 REPORTE DE INSPECCIÓN

El reporte debe ser preciso, claro y debe contar con el soporte de registros analizados para emitir el reporte, en el cual se plasmen los hallazgos, y a partir de estos generar un diagnóstico para mantenimiento de la unidad analizada.

6. CONCLUSIONES

-El uso de drones en la tarea de inspección de activos reduce el riesgo de las personas, al no tener que ejecutar trabajos en altura y representa un ahorro significativo en tiempo de inspección en campo.

-En Colombia ya es posible contar con una legislación completa y clara para la operación de sistemas de aeronaves no tripuladas.

-La disminución de paradas de las unidades de bombeo mecánico, repercute positivamente en los índices de producción de los pozos y por ende del campo. Para el área de producción el hecho de poder realizar la tarea de inspección sin parar el equipo es de suma importancia, ya que dichas paradas, re arranque y estabilización de variables del equipo representan una disminución considerable en la capacidad de producción del pozo.

-Para cumplir con los altos estándares de seguridad del sector oil and gas, el plan propuesto de inspección visual remota contempla los requisitos, limitaciones y directrices dadas por la Aeronáutica Civil Colombiana y por el Instituto Americano del Petróleo.

7. RECOMENDACIONES

- Bajo las consideraciones plasmadas en el presente documento es recomendable realizar pruebas en campo para la tarea de inspección en el equipo de superficie de la UBM.

-Gracias al desarrollo constante de nuevas tecnologías, que se traducen en sistemas más compactos y de mayor capacidad, es recomendable adicional a la cámara equipar el drone con otras tecnologías de diagnóstico, tales como cámara termográfica, dispositivos de captura de audio que permitan un diagnostico más preciso del equipo analizado.

BIBLIOGRAFÍA

AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA, Reglamento Aeronáutico de Colombia, RAC 91, Reglas generales de vuelo y de operación, 2020, p. 258 – 292

API GUIDE FOR DEVELOPING AN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS PROGRAM (GUIA API PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE SISTEMAS DE AERONAVEAS NO TRIPULADAS). 2020. 32p

BAKER HUGHES, Lufkin Beam Pumping Units Conventional & Reverse Mark Installation & Operations Manual. 2018. 121p.

Circuits today, Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's. [Sitio web]. [Consultada: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>

Drones in the oil and gas industry: Leading companies. [Sitio web]. [Consultada: 15 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.offshore-technology.com/comment/drones-oil-gas-leading-companies/>

GABOR, Takacs. Sucker-Rod Pumping Handbook Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. Massachusetts, USA: Elsevier, 2015. P. 2-4. ISBN: 978-0-12-417204-3

GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2003. P. 1-2. ISBN-10: 84-7978-548-9

GRINDDRONE, drone components and what they do. [Sitio web]. [Consultada: 11 de julio de 2020]. Disponible en: <https://grinddrone.com/drone-features/drone-components>

PETROBLOGGER, Bombeo mecánico de petróleo. [Sitio web]. [Consultada: 18 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/bombeo-mecanico-de-petroleo/>

RIOS, Gabriel. Metodología para implementar el sistema artificial de producción de bombeo de cavidades progresivas en el campo Moloacan, Trabajo de grado Maestro en Ingeniería, UNAM, 2017. 121p.

WEATHERFORD, Pumping Unit Services Inspection and Preventative Maintenance. 2016. 32p.