

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE OPERAR EN COLOMBIA TALADROS
PETROLEROS DE ÚLTIMA GENERACIÓN APLICANDO BUENAS PRÁCTICAS
DE AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS UTILIZADOS EN LA AVIACIÓN**

MARIA CAMILA BOLAÑOS BUSTOS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE EMPRESAS
BOGOTÁ D.C.
2017**

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE OPERAR EN COLOMBIA TALADROS
PETROLEROS DE ÚLTIMA GENERACION APLICANDO BUENAS PRACTICAS
DE AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS UTILIZADOS EN LA AVIACION**

MARIA CAMILA BOLAÑOS BUSTOS

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gerencia de Empresas**

**Orientador
CLEMENCIA MARTINEZ ALDANA
Economista, PhD.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE EMPRESAS
BOGOTA D.C.
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., Agosto de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gerencia de Empresas

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

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

DEDICATORIA

Para aquellos que se interesen en mejorar la seguridad del grupo de personas que está diariamente en las instalaciones de taladros de perforación, que no solo está trabajando en contacto con herramientas y equipos que le superan considerablemente en tamaño, sino que también está expuesto a situaciones riesgosas donde un error mínimo puede poner en riesgo no solo su integridad física, sino la vida también.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones recibidas, especialmente la de hacer parte de una familia tan luchadora que me enseñó que sin importar las adversidades que se nos presenten en la vida, salir adelante y ser feliz es posible. Además, resalto el apoyo de cada uno de ellos porque fue primordial para completar este largo y arduo proceso de convertirme en especialista en gerencia de empresas.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 18 |
| OBJETIVOS | 19 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 20 |
| 2. ANTECEDENTES | 22 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 24 |
| 4. DELIMITACIÓN Y ALCANCE | 25 |
| 5. METODOLOGÍA | 26 |
| 6. MARCO TEÓRICO | 27 |
| 6.1 GENERALIDADES DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN | 27 |
| 6.1.1 Generalidades taladro de perforación convencional | 28 |
| 6.1.1.1 Sistema de Potencia | 28 |
| 6.1.1.2 Sistema de levantamiento | 29 |
| 6.1.1.3 Sistema de Rotación | 32 |
| 6.1.1.4 Sistema de Circulación | 33 |
| 6.1.1.5 Sistemas de Seguridad | 35 |
| 6.1.2. Generalidades del taladro de perforación de última generación o tecnología. | 35 |
| 6.1.1.1 Manejo de tubería | 36 |
| 6.1.1.2 Autodriller | 37 |
| 6.1.1.3 Inteligencia de perforación en tiempo real. | 38 |
| 6.1.1.4 Cabina del perforador | 39 |
| 7. COSTOS DE OPERACIÓN | 41 |
| 7.1.1 TALADRO CONVENCIONAL | 41 |
| 7.1.2 Taladro de última tecnología. | 43 |
| 8. TIEMPO NO PRODUCTIVO EN UN POZO PETROLERO (NPT) | 46 |
| 8.1 COSTOS POR NPT | 46 |
| 9. LA AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA AVIACIÓN. | 49 |
| 9.1 BUENAS PRÁCTICAS DE USO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN LA INSUTRIA DE LA AVIACIÓN | 54 |
| 10. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATÉGIA | 59 |
| 11. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ESTRATEGIA PLANTEADA. | 64 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 12. CONCLUSIONES | 70 |
| 13. RECOMENDACIONES | 72 |
| GLOSARIO | 14 |
| BIBLIOGRAFIA | 73 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|--|-------------|
| Imagen 1. Motores-generadores de energía. | 29 |
| Imagen 2. Torre de perforación. | 29 |
| Imagen 3. Consola del perforador taladro convencional. | 30 |
| Imagen 4. Malacate (drawworks) | 30 |
| Imagen 5. Componentes bloque viajero | 30 |
| Imagen 6. Elevador. | 31 |
| Imagen 7. Cuña. | 31 |
| Imagen 8. Llaves de potenci | 31 |
| Imagen 9. Cadena de enroscar. | 32 |
| Imagen 10. Ensamblaje de fondo de pozo (BHA). | 32 |
| Imagen 11. Mesa rotaria (Kelly). | 33 |
| Imagen 12. Top Drive. | 33 |
| Imagen 13. Sistema de circulación. | 34 |
| Imagen 14. Sistema de válvulas de control de pozo (Árbol de navidad, cabeza de pozo). | 35 |
| Imagen 15. Floor - hand. | 36 |
| Imagen 16. Comparación de la cantidad de tubería conectada de forma manual y de forma automática. | 37 |
| Imagen 17. Manipulador automático de tubería (Automatic pipe handler). | 37 |
| Imagen 18. Vista digital de los parámetros más importantes de las operaciones de perforación (Velocidad de perforación, peso en broca, torque, diferenciales de presión, información de bombas y estado malacate). | 38 |
| Imagen 19. Pantalla digital que ilustra la información del estado del pozo, la operación de los distintos equipos de perforación y los registros eléctricos que datan las condiciones de fondo de pozo. | 39 |
| Imagen 20. Cabina del perforador. | 39 |
| Imagen 21. Flujo de información y toma de decisiones entre fondo de pozo y el centro de apoyo. | 40 |

LISTA DE GRAFICAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Gráfica 1. Cantidad de horas NPT para los primeros 4 meses del año 2015. | 47 |
| Gráfica 2. Cantidad de accidentes registrados en el periodo 1946-2014. | 49 |
| Gráfica 3. Tasas de accidentes y cantidad de muertes a bordo de la flota mundial de aviones comerciales desde el año 1959 hasta 2016. | 53 |
| Gráfica 4. Curva de accidentes de avión por cada millón de vuelos. | 65 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|---|-------------|
| Cuadro 1. Equipos del sistema de levantamiento según Schlumberger. | 29 |
| Cuadro 2. Equipos sistemas de rotación según Datalog. | 32 |
| Cuadro 3. Reglas de oro de la aviación Airbus. | 56 |
| Cuadro 4. Diferencias claves entre la industria de la aviación y la industria petrolera. | 59 |
| Cuadro 5 Beneficios obtenidos por la incorporación de los principios de uso de la automatización. | 61 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1 Costos de operación de un taladro convencional. | 41 |
| Tabla 2. Costos de operación de un taladro de última tecnología. | 43 |
| Tabla 3. Cantidad de horas NPT para los primeros 4 meses de 2015. | 47 |
| Tabla 4. Valor de las horas NPT y su respectivo porcentaje respecto al valor de la campaña mensual. | 48 |
| Tabla 5. Registro de la cantidad de accidentes ocasionados por distintas causas en el periodo 1950-2010. | 64 |
| Tabla 6. Número de accidentes por cada millón de vuelos desde 2008. | 65 |
| Tabla 7. Porcentajes de reducción de NPT's operacionales estimados para cada año y cada escenario de la simulación. | 66 |
| Tabla 8. Valores promedio de las horas NPT registradas en los primeros 4 meses del año 2015. | 66 |
| Tabla 9. Cantidad y valor de NPT operacional disminuido para el periodo 2017-2023. | 67 |
| Tabla 10. Simulación de reducción de NPT's para el año 2017. | 68 |
| Tabla 11. Simulación de reducción de NPT's para el año 2019. | 68 |
| Tabla 12. Simulación de reducción de NPT's para el año 2021. | 68 |
| Tabla 13. Simulación de reducción de NPT's para el año 2023. | 69 |
| Tabla 14. Valor de disminución del costo promedio de pozo y del costo generado por NPT operacional para el periodo 2017-2023. | 69 |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------|--|
| Ahorro: | Gasto menor de lo que es habitual. |
| Alta etnología: | La tecnología más avanzada disponible en el momento. |
| Automatizar: | Aplicación de procedimientos automáticos a un aparato, proceso o sistema. |
| Barril: | Unidad de medida del petróleo que equivale a 159 litros. |
| Catástrofe: | Desastre, suceso desgraciado e inesperado. |
| Centrifuga: | Bomba que permite que el líquido del movimiento se efectúe por la acción de la fuerza centrífuga. |
| Conexión: | Punto donde se realiza el enlace entre dos tubos pertenecientes a la tubería de perforación. |
| Crisis: | Cambio importante en el desarrollo de un proceso que da lugar a una inestabilidad, Problema, conflicto, situación delicada. |
| Desarenador: | Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que se encuentran en el fluido de perforación. |
| Desgacificador: | Un dispositivo que remueve el aire o los gases (metano, H ₂ S, CO ₂ y otros) de los líquidos de perforación. |
| Eficiencia: | Capacidad para lograr un fin empleando los mejores medios posibles. |
| Error humano: | Acción desacertada o equivocada hecha por la parte humana de las operaciones. |
| Estrategia: | Técnica y conjunto de actividades destinadas a conseguir un objetivo. |
| Falla de equipo: | Incumplimiento de una obligación. |
| Galonaje: | Cantidad de líquido medido en galones. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Gremio: | Corporación de personas del mismo oficio o profesión, regida por estatutos especiales. |
| Habilidad manual: | Capacidad, inteligencia y disposición para realizar algo bajo la auto-supervisión. |
| Hidrociclón: | Equipos destinados principalmente a la separación de suspensiones sólido – líquido. |
| Imposibilidad: | Falta de posibilidad para existir una cosa o para hacerla. |
| Ineficiencia: | Falta de eficiencia. |
| Interacción: | Acción que se ejerce recíprocamente. |
| Jets: | Agujeros ubicados en la broca de perforación que permiten la salida del fluido de perforación. |
| Lección: | Cualquier acontecimiento, ejemplo o acción ajena que, de palabra o con el ejemplo, nos enseña algo. |
| Lubricar: | Suministrar una sustancia a un mecanismo para mejorar las condiciones de deslizamiento de las piezas. |
| Nivel: | Altura a que llega la superficie de un líquido. |
| Operadores: | Conjunto de personas que trabajan manipulando maquinaria. |
| Piloto: | Persona que dirige un buque, un avión u otro vehículo. |
| Problemas operacionales: | Problemas que surgen en las operaciones de perforación. |
| Rentabilidad: | Capacidad de rentar o producir un beneficio suficiente. |
| Ripios: | Cortes de roca que llegan a la superficie por el fluido de perforación. |

| | |
|------------------------------|---|
| Sarta: | Tuberías de acero de aproximadamente 10 metros de largo que se unen para formar un tubo desde la barrena de perforación hasta la plataforma de perforación. El conjunto se gira para llevar a cabo la operación de perforación y también sirve de conducto para el lodo de perforación. |
| Sinérgicamente: | Unión de varias fuerzas, causas, etc., para lograr una mayor efectividad. |
| Sistema convencional: | Sistemas utilizados de la manera tradicional, que no cuentan con alta tecnología. |
| Subsuelo: | Capa profunda del terreno situado por debajo de la superficie terrestre. |
| Tiempo no productivo: | Tiempo utilizado en realizar acciones u operaciones que no estaban contempladas en el plan inicial. |
| Torque: | Torsión mecánica; El torque es la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa. |
| Válvulas: | En una máquina, pieza que, colocada en una abertura, sirve para dejar libre o cerrar un conducto. |
| Viabilidad: | Posibilidad de llevar a cabo algo. |
| Yacimiento: | Sitio donde se halla naturalmente una roca, un mineral, un fósil, o restos arqueológicos. |
| Zaranda: | Equipo de perforación para remover los sólidos perforados del lodo. |

RESUMEN

En esta monografía, se hizo la evaluación económica de la estrategia que fue planteada con el fin de reducir los costos operacionales generados por los tiempos no productivos, y que a su vez, estos tiempos son ocasionados por el factor humano en las operaciones de perforación. Dicha estrategia consiste en implementar las buenas prácticas de la automatización de procesos que se usan en la industria de la aviación.

En primer lugar, se exponen algunas generalidades acerca del funcionamiento y de los distintos equipos que hacen parte de los tanto de los taladros convencionales como de los taladros de última generación. Esto se hace con el fin de establecer los beneficios obtenidos en las operaciones de perforación por la incorporación de sistemas de alta tecnología en los taladros. Seguido a esto, se presentan los costos operacionales de las dos distintas clases de taladro y con el análisis realizado, se considera que los costos generados por problemas operacionales son altos debido a que el error humano es un factor que aparece continuamente en las operaciones.

Con el análisis de las causas que producen catástrofes aéreas, el error humano es una de las más recurrentes desde hace más de 40 años. La industria de la aviación al implementar sistemas de alta tecnología en los aviones causó que las estadísticas de accidentes disminuyeran, sin embargo para la primera década del 2000 la tasa de accidentalidad se elevó y se manifestó un nuevo problema. La nueva causa de accidentes aéreos tenía como raíz la mala intervención gestión del factor humano sobre los sistemas automatizados de las aeronaves.

En base a lo anteriormente dicho, se evidencia una similitud del problema que genera la presencia del error humano en las dos industrias. Así mismo se plantea que existe la posibilidad de que las buenas prácticas del uso de la automatización de procesos que ayudó a reducir la cantidad de accidentes aéreos, pueda también disminuir en parte los costos generados por los errores humanos.

Palabras clave: Optimización, Costos, Taladro Convencional, Taladro Última Generación, Buenas Prácticas, Aviación.

INTRODUCCION

La presente monografía está realizada con el fin de brindar una estrategia para que los problemas operacionales causados por el error humano, especialmente en los taladros de última generación, se reduzcan tanto en número como en tiempo invertido para remediar sus consecuencias, con el fin de así mismo reducir los costos de las operaciones.

La automatización es cada vez más común en el ambiente de la perforación y las reacciones a ella son mixtas. Ésta ofrece la posibilidad de perforar pozos de forma más segura y más eficiente comparándola con los sistemas convencionales que se usaban años atrás. Sin embargo, detrás del factor de la automatización se encuentran muchas cuestiones, como por ejemplo el problema de la creciente dependencia de los operadores en los sistemas automatizados, de modo que sus habilidades manuales -y posiblemente analíticas- se degradan hasta tal punto que su capacidad para hacer frente a una emergencia se ve comprometida. Otro problema que se evidencia es la baja capacidad que poseen los operarios para trabajar sinérgicamente con los sistemas automatizados. Es claro que al automatizar una función se cuestiona si las implicaciones sociales, procedimentales y organizacionales son plenamente comprendidas.

Para plantear la estrategia que mejora el desempeño actual de los sistemas automatizados, de los operarios, y de los mismos en conjunto; es necesario resaltar los beneficios obtenidos una vez los sistemas automatizados y de alta tecnología se incorporaron en la industria petrolera. Adicional a esto, con el estudio de las lecciones aprendidas de la aviación por sucesos aéreos catastróficos, se evidencia la similitud del problema que genera la presencia del error humano tanto en la industria de la aviación como en la industria petrolera. Es por eso que el proyecto que potencializó la interacción de piloto-automatización para reducir la cantidad de accidentes de aviones anuales, pueda generar un impacto positivo en la interacción perforador-taladro para disminuir la cantidad del tiempo no productivo que se genera en las operaciones de perforación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad económica de la estrategia de operar taladros de última generación para la perforación de un pozo petrolero en Colombia tomando como referencia las buenas prácticas de automatización de procesos que se utilizan en la industria de la aviación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Definir el funcionamiento y determinar los costos de operación para un taladro convencional y para un taladro de última generación.
- Analizar los costos de operación para un taladro convencional y para un taladro de última generación.
- Evaluar económicamente la estrategia planteada para disminuir los costos de operación de un taladro petrolero aplicando buenas prácticas de automatización de procesos que se utilizan en la industria de la aviación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la fuerte caída de los precios del petróleo en los últimos 2 años, pasando el precio del barril de petróleo de más de 100 dólares a menos de 40 cuarenta, las compañías petroleras se han visto en serios problemas que afectan su rentabilidad, margen de ganancias, imposibilidad para pagar sus deudas y han tenido que reducirse, cancelar proyectos, despedir personal, etc. Además, de forma negativa el sector venía acostumbrado a la abundancia, el desperdicio y los sobrecostos. Sin importar que ya se han presentado varias crisis en el gremio, las compañías no adaptaron conceptos de ahorro y eficiencia. Es por esto que hoy en día, con la crisis actual es necesario para aquellas compañías operadoras encargadas de explotar los yacimientos de petróleo desarrollar proyectos que sean más económicos y tenga una mayor durabilidad en el tiempo.

Desde hace varios años, se ha venido desarrollando una tecnología especial para que las operaciones de perforación sean más eficientes y más seguras. Dicha tecnología consiste en automatizar los procesos de perforación de pozos petroleros. Debido a los ambientes extremos a los cuales se han llevado actividades de explotación de hidrocarburos, como los son las zonas marítimas bien retiradas de la costa o aquellas zonas donde la existencia del hielo y las temperaturas bajas predominan en el sitio, se vio la necesidad de reemplazar la actividad humana en las operaciones por la funcionalidad de máquinas que respondieran mejor en la realización de las operaciones a pesar del ambiente que les rodea.

Dicha tecnología también ha sido llevada a zonas donde el ambiente no es extremo para hacer las operaciones más eficientes y más seguras. Sin embargo, existen un problema de ineficiencia e insatisfacción por parte de las operadoras respecto a la falta de optimización. Revisando detalladamente la las operaciones de perforación en la industria de hidrocarburos colombiana, se puede observar que la mayor causa que genera sobrecostos de operación es la existencia de tiempos no productivos (NPT) que pueden oscilar entre el 5% y el 30% del tiempo de las operaciones¹, estos suceden por fallas de quipos, herramientas e inclusive por la toma de decisiones erróneas del factor humano en las operaciones por inexperiencia, ignorancia en el tema o el estado de salud del trabajador, lo que también es un problema de seguridad para el equipo de trabajo involucrado en la operación.

¹ BUREAU VERITAS ARGENTINA. Se puede reducir el tiempo no productivo (NPT) de tu pozo?. [Sitio web]. Argentina. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: http://www.bureauveritas.com.ar/home/news/did-you-know-that/sq-reducir-tiempo-no-productivo?presentationtemplate=bv_master_v2/news_full_story_presentation_did_you_know_v2

Con esto surge el interrogante ¿Cómo se puede generar un aumento en la seguridad del equipo de trabajo en las operaciones y como disminuir los sobrecostos de operación generados por los tiempos no productivos causados por la mano de obra humana en la manipulación de taladros de última tecnología?

De no resolverse este interrogante es posible que la crisis siga golpeando la economía del país bruscamente. Es necesario resolver el problema para que la industria pueda recuperarse, sostenerse y seguir generando utilidades generosas aun cuando los precios de crudo no sean los mismos de hace dos años.

2. ANTECEDENTES

En el paper escrito por John Thorogood, Walt Aldred, Fred Florence y Fionn Iversen, todos miembros de la sociedad de ingenieros de petróleo (SPE); titulado: “Drilling Automation: Technologies, Terminology, and Parallels With Other Industries”², se observan que los autores toman con mucha precaución el tema de la terminología de automatización de procesos por su variado significado alrededor del mundo. También hablan de una escala de nivel de automatización de procesos investigada por Sheridan y Huang. Como conclusión de ella, los autores determinan que ya existe el nivel en el cual las operaciones automatizadas son seguras y tienen cierta capacidad de autonomía para ejecutar acciones. En una parte del paper se refieren a como la automatización en las aeronaves de uso comercial ha brindado una mayor eficiencia para cumplir sus tareas. Es decir, como los aviones cumplen sus horarios de una manera casi estricta y como las aeronaves al estar casi totalmente automatizadas y con un buen nivel de supervisión por parte de la tripulación realizan viajes de manera más eficiente donde la aeronave no sufre problemas técnicos. La precisión que permite la automatización, mayor que la humana; permite que se realicen funciones más complejas. Sin embargo, se recalca que la tripulación mantiene la gestión de la manipulación de la aeronave y la toma de decisiones sobre la misma en caso de cualquier eventualidad. También, se habla de que actualmente existen organizaciones que se encargan de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para llevar a la industria de hidrocarburos a una completa automatización.

Además, el paper Drilling Automation: Potential for Human Error³ escrito por Fionn Iversen, Leif Jarle Gressgard; John L. Thorogood, Mohsen Karimi Balov and Vidar Hepsø; es un artículo que da un informe completo acerca de una prueba hecha con un programa que simula el funcionamiento de un taladro de perforación petrolera. Este estudio fue realizado a un grupo de expertos en la manipulación de taladros. El fin de las diferentes pruebas realizadas es conocer cómo se comportan los participantes de la prueba a errores provocados por la simulación. No solo hacen referencia a los posibles accidentes que pueden ocurrir por una mala lectura dictada por los sensores de la automatización, sino que existen

² THOROGOOD, John; ALDRED, Walt; FLORENCE, Fred; IVERSEN, Fionn. PAPER SPE: Drilling Automation: Technologies, Terminology and Parallels With Other Industries. SPE-119884-MS. [Sitio web]. United States. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-119884-MS?id=conference-paper%2FSPE-119884-MS>

³ IVERSEN, Fionn; GRESSGARD, Leif Jarle; THOROGOOD, John L.; KARIMI BALOV, Mohsen; HEPSØ, Vidar. PAPER SPE: Drilling Automation: Potential for Human Error. SPE-151474-MS. [sitio web]. United States. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-151474-MS?id=conference-paper%2FSPE-151474-MS>.

errores que se cometen por el nivel de automatización del proceso y el grado de conocimiento que se tiene del mismo. Además, también se hace la mención de algunos de los accidentes ocurridos en la industria de la aviación donde parte del accidente se le atribuye a un error cometido por el piloto o porque algún sistema falla y hace que la tripulación no se percate sino hasta cuando ya la catástrofe no podrá ser contenida. Temas como la comunicación entre los participantes de la operación, la información completa que debe recibir la parte operativa, y una automatización más completa en las operaciones le permiten al trabajador tener un mayor control de la operación ya que cuenta con más tiempo para su supervisión. Además, se concluye que los operadores deben recibir un nivel de capacitación proporcional al nivel de automatización que tenga el proceso.

En adición, el paper “Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation”⁴ escrito por John L. Thorogood, el autor hace citaciones a tres casos de accidentes de avión que se han presentado alrededor del mundo. Primero habla del accidente que ocurrió en la ciudad de Cali (Colombia), luego habla del accidente en el río Hudson, en Nueva York (USA) y finalmente cita el accidente del vuelo de la compañía Air France que ocurrió en el mar de Brasil. En los tres casos demuestra cómo el accidente se pudo evitar gracias a una buena interacción entre la automatización y la tripulación como ocurrió en el accidente del Río Hudson, donde más de 150 personas sobrevivieron a pesar del accidente. Sin embargo, también el autor hace evidencia de cómo un mal manejo de la automatización por parte de la tripulación, y además un descuido por el personal humano a cargo de las aeronaves, llegaron a convertirse en tragedias para muchas familias. También el autor hace un paralelo donde la industria de la aviación puede tener similitudes con la industria de hidrocarburos. Dicha comparación dice que la tripulación de un avión puede ser vista en el mundo petrolero como el grupo de trabajo que se encuentra en campo y que hace la manipulación directa del taladro; mientras que la torre de control que libera el tráfico aéreo para un tránsito seguro de varias aeronaves puede ser vista como aquel grupo que trabaja a distancia y que tiene la responsabilidad de la seguridad global de la operación, en términos de las normas técnicas, realización y seguridad de los procesos del diseño, además de su verificación, trabajan por medio de redes sociales para comunicar sus decisiones y acciones acerca de cómo se va a llevar a cabo la operación de la perforación.

⁴ THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation SPE-151257-PA. [sitio web]. United States. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <<https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>>

3. JUSTIFICACIÓN

La industria del petróleo se vio altamente impactado por la caída de los precios del petróleo a finales del año 2014. El precio del barril de crudo pasó de un promedio de 100 dólares a menos de 30 dólares por barril de crudo. En un año, el mercado disminuyó 60 dólares de margen al negocio, por lo que las compañías operadoras tienen que replantear sus negocios.

Por muchos años en la industria petrolera las operaciones presentaban sobrecostos ya sean por toma de decisiones erróneas por parte del factor humano, o por la cantidad de incidentes ocurridos por falta de conocimiento en la manipulación de las herramientas implementadas por parte de los trabajadores de campo. Sin embargo los márgenes de utilidad eran altos y nunca se tomaron en cuenta los conceptos del ahorro y la eficiencia.

Es importante que tales conceptos hubiesen sido claves para desarrollar estrategias que hubiesen aumentado en una cantidad considerable las utilidades ya producidas, o simplemente tener un plan y los fondos suficientes para la contingencia de un caso eventual que pudiera producir una crisis económica en el sector como pasa hoy en día, nunca fueron tenidos en cuenta y se ignoraron por completo. Además, esta crisis no solo afecta el sector de hidrocarburos, sino que también está afectando notoriamente la economía de algunos países donde la exportación de hidrocarburos es una de sus principales pilares de la economía, como por ejemplo Colombia. Con los precios bajos del petróleo (menos de 40 dólares por barril) se han cancelado muchos proyectos, no solo de explotación sino también de exploración, y es ahora que las compañías operadoras requieren hacer pozos a menor costo y para más tiempo con un alto potencial de producción (ciclo de vida de producción).

Es por eso que es necesario llegar a una solución donde los sobrecostos de operación sean reducidos, sean más eficientes y sean más seguros para que las compañías extranjeras o nacionales tengan nuevamente la oportunidad de hacer inversión en el país, y que así mismo compañías petroleras pertenecientes al estado tengan fondos suficientes para seguir haciendo exploración en el subsuelo colombiano y así aumentar las reservas que año a año se han ido acabando.

4. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

El proyecto consistió en hacer una investigación acerca de la operación de taladros convencionales y taladros de última generación en Colombia. Además se investigó por medios electrónicos, y se realizaron dos entrevistas a profesionales de la industria de la perforación con el fin de tener un asesoramiento por expertos para mayor veracidad de la información presentada. La estrategia y la evaluación económica se hicieron con el fin de dar una posible alternativa para disminuir los costos de operación generados por tiempos no productivos causados por el factor humano.

5. METODOLOGÍA

Se realizó una metodología de forma descriptiva, basándose en la recopilación de información obtenida a través de las fuentes de información brindadas por la universidad de América como One Petro y basándose en fuentes de información secundaria como informes de estadísticas, artículos de revistas y libros técnicos. Para ello inicialmente se definió el funcionamiento y los equipos que hacen parte de los taladros de perforación (convencional y de última generación).

A continuación se presentaron los costos de operación para cada tipo de taladro y se realizó un análisis detallado. Seguido a esto se estableció el contexto de como la automatización ayudó a la industria de la aviación a disminuir la cantidad de accidentes aéreos, y como se originó la estrategia que permitió que la relación humano-automatización fuera sinérgica. Luego se planteó la estrategia que beneficia la operación de los taladros de tal manera que sus tiempos no productivos se disminuyeran en un porcentaje que se obtuvo del análisis de la cantidad de accidentes aéreos anuales.

Al final, se establecieron los diferentes escenarios de estudio y se realizó la simulación de la evaluación económica una vez se implementara la estrategia planteada.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 GENERALIDADES DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN

Un taladro de perforación, que puede ser conocido también por el nombre de torre de perforación, es una integración de diferentes instrumentos industriales que se utilizan con el fin de realizar perforaciones que atraviesen el suelo terrestre o marino. Normalmente las profundidades alcanzadas pueden oscilar entre los 800 y los 600 Segun un catálogo de PDVSA⁵ metros dependiendo de las condiciones que se presentan en el subsuelo y la distancia a la cual se quiera llegar. Estas perforaciones se hacen con el fin de extraer recursos tales como agua, gas o petróleo. Los objetivos a los cuales pretende llegar la perforación de un pozo reciben el nombre de yacimiento.

Actualmente existen varios de tipos de taladros, sin embargo estos se pueden subdividir en dos clases, taladros de carácter convencional y taladros de carácter automatizado. Schlumberger⁶ si bien, cataloga que todos los equipos de perforación operan con un sistema de levantamiento, un sistema de rotación, un sistema de circulación, un sistema de potencia y sistema de seguridad.

El sistema de levantamiento y el sistema de rotación son dos partes esenciales de los taladros de perforación. El sistema de levantamiento tiene como función introducir, sostener o extraer del hueco aquellas pesadas cargas de tubería o de herramientas que se utilizan para elaboración del hueco y la extracción de los fluidos. Lemansstein⁷ dice que el sistema de rotación es aquel que cumple mediante sus instrumentos industriales la función de hacer el hueco que atraviesa el subsuelo para llegar a la profundidad donde se encuentre el yacimiento que se quiera explotar.

Con el pasar de los años, la evolución de los taladros ha sido altamente notoria si se hace un paralelo desde sus inicios en el siglo XIX hasta la actualidad. Sin embargo, durante los últimos diez años la evolución de los taladros ha hecho un salto gigantesco. Los taladros convencionales cuentan con instrumentos industriales que necesitan ser manipulados obligatoriamente por un operario, lo

⁵ PDVSA. El taladro de perforación [sitio web]. Venezuela. sec. Somos PDVSA [consultado en 01 Noviembre de 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/245834411/Taladro-de-Perforacion>.

⁶ SCHLUMBERGER, IMP. Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores: los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. [sitio web]. México. [consultado 1, Noviembre, 2016]. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscincosistemasdelequipo.pdf>

⁷ LEMANSISTEM. El pozo ilustrado. Perforación [sitio web]. ed. 1. México. Capítulo 3. p. 98. [consultado, 1, Noviembre, 2016]. Disponible en: https://alemansistem.files.wordpress.com/2012/05/cap_03.pdf

que hace que exista con contacto directo entre maquinaria-humano para que la herramienta cumpla su función. La maquinaria usada en perforación de pozos petroleros es de gran tamaño y por lo tanto su peso se estima en toneladas ya que la gran mayoría de las herramientas están hechas de hierro. Con esto, se observa que las operaciones eran de gran riesgo para aquellos quienes tuvieran que manipular por contacto físico dicha maquinaria. Existen evidencias donde se percibe que las características de tamaño y peso que poseen las herramientas de trabajo de los taladros supera la capacidad humana para su control. Es por eso, que fines del siglo XX comienzan a aparecer nuevas tecnologías que comienzan a romper ese contacto físico maquinaria-humano. Según en la presentación de alumnos de la escuela del petróleo de Patagonia⁸ la utilización de alta tecnología que era capaz de manipular instrumentos industriales de mayor tamaño y mayor peso sin poner en riesgo la vida de un ser humano le dio inicio a la nueva era de los taladros de perforación y es aquí donde entran la automatización de procesos a la industria petrolera.

6.1.1 Generalidades taladro de perforación convencional

6.1.1.1 Sistema de Potencia

Según Schlumberger⁹, El sistema de potencia se basa básicamente en brindar la energía suficiente a los distintos equipos que se encuentran en la locación del taladro. En la actualidad, es muy común encontrar transmisión de energía eléctrica y no de energía mecánica por la complejidad de este último, ya que se compone de poleas y correas. El sistema posee generadores de energía que funcionan con motores de combustión interna y que se alimentan de Diésel. Desde este punto la electricidad fluye a través de cables hasta motores eléctricos que están directamente conectados a diversos equipos como el malacate, las bombas de lodo y la mesa rotaria o el top drive.

⁸ ALVARADO Fernando; GALLARDO Mariano; ILLANES Tobías; ZAMORANO Osvaldo; LEGAZ Daniel. Presentación de alumnos del instituto superior n° 1810 “escuela de petróleo de la Patagonia”: evolución cronológica y comparación de equipos torres de perforación. [sitio web]. Argentina. 17-18 de agosto de 2011. . [consultado 1, Noviembre, 2016]. Disponible en:<<http://www.iapg.org.ar/seccionalsur/Diferencias.pdf>>.

⁹ Schlumberger. Los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. Programa de entrenamiento acelerado para supervisores. [sitio web]. [consultado 4, diciembre, 2016]. p. 4. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscincosistemasdeequipo.pdf>

Imagen 1. Motores-generadores de energía.



Fuente: Nous. Fundamentos de exploración y producción. Perforación de pozos. Slide 5. Disponible en: <https://es.slideshare.net/MagnusMG/perforacion-de-pozos-petroleros-42587724>

6.1.1.2 Sistema de levantamiento

Cuadro 1. Equipos del sistema de levantamiento según Schlumberger¹⁰.

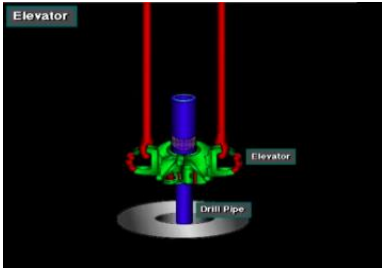
| EQUIPO | REPRESENTACIÓN GRÁFICA |
|---|--|
| <p>Torre de Perforación: Este equipo se divide en dos partes, el mástil y la subestructura. El mástil es una estructura metálica que posee la capacidad de soportar todas las cargas verticales. La subestructura está construida con acero y soporta el peso del mástil, la mesa de trabajo, el malacate, la consola del perforador y otros equipos.</p> | <p>Imagen 2. Torre de perforación.</p>  <p>Fuente: NABORS WEB PAGE. http://www.nabors.com</p> |
| <p>Corona: Se refiere a la parte superior del taladro de perforación, donde el peso de la sarta de perforación es transmitido a la torre, además sostiene el peso del bloque viajero.</p> | |
| <p>Encuelladero: es una plataforma ubicada en la parte superior del mástil y a unos metros por debajo del bloque corona. El operador que se ubica en esta plataforma se le conoce como encuellador, y tiene como función ubicar las parejas de tubos en los respectivos elevadores para ser conectadas sí se está en viaje, y reorganizar las mismas en los peines sí la operación está en proceso de sacado de tubería.</p> | |

¹⁰ Schlumberger. Los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. Programa de entrenamiento acelerado para supervisores. Presentación Schlumberger, documents. [sitio web]. [consultado 10 de marzo de 2017]. p. 4. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscincosistemasdeequipo.pdf>

Cuadro 1. (Continuación)

| | |
|---|--|
| <p>Consola del perforador: La consola del perforador es un panel que le da visión general de todos componentes del sistema que están en operación. Este se constituye de distintos instrumentos como lo es medidor de peso Martin Decker, el manómetro, dos indicadores de torque (uno para apretar las herramientas y otro la sarta de perforación mientras gira), el medidor de RPM (revoluciones por minuto), el medidor de galonaje, medidor de nivel en los tanques de lodo, entre otros.</p> | <p>Imagen 3. Consola del perforador taladro convencional.</p>  <p>Fuente: D'OLIVEIRA HENIO. Equipamentos de Sondas. Disponible en: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6hMAH/equipamentos-sondas?part=3</p> |
| <p>Malacate: Es en un cilindro donde se enrolla alrededor el cable de perforación que permite el movimiento vertical de la sarta de perforación. Además, el malacate transmite la potencia para hacer girar la mesa rotatoria (Kelly), y las llaves que permiten apretar y desapretar las conexiones de los tubos</p> | <p>Imagen 4. Malacate (drawworks)</p>  <p>Fuente: KINGLAND. Golbal petroleum INC. Drawworks. 2017. Disponible en: http://www.kinglandpetro.com/drilling-rig-components/drawworks</p> |
| <p>Bloque viajero y bloque corona: el bloque corona se ubica en la parte superior de la torre y se constituye por una serie de poleas que mediante un cable grueso de acero se conecta con el bloque viajero. El conjunto de poleas con el cable le permite al bloque viajero proporcionar los medios de soporte para suspender las herramientas. Dentro de las herramientas que se suspende están el elevador, el top drive, la sarta de perforación, y la broca.</p> | <p>Imagen 5. Componentes bloque viajero</p>  <p>Fuente: Choudhary, Deepaak. Directional Drilling Technology. Applications of directional drilling. 2011. Disponible en: http://directionaldrilling.blogspot.com.co/2011_06_01_archive.html</p> |

Cuadro 1. (Continuación)

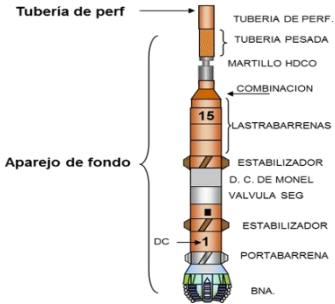
| | |
|--|---|
| <p>Elevador: Es una herramienta localizada debajo del bloque viajero donde se conectan los equipos para soportar la sarta de perforación. Los elevadores tienen como función principal agarrar la sarta de perforación para permitirle al perforador bajar o subir la tubería hacia y desde el hoyo.</p> | <p>Imagen 6. Elevador.</p>  <p>Fuente: Oil And Gas Information. Oil and Gas Pipe Handling Training Part 4 Slips and Elevators used at Drilling Rigs. 2016 Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=HvGMvgpPgxc</p> |
| <p>Cuña: Es una pieza metálica con dientes y otros dispositivos de agarre, empleadas para sostener la tubería en la mesa de trabajo mientras se hace la conexión de una o más tuberías evitando así que se resbale por efecto de la gravedad. El grupo de trabajo que opera con este elemento se les conoce como cuñeros.</p> | <p>Imagen 7. Cuña.</p>  <p>Fuente: RAYSHA VERA CALLAO. Manual de Perforación. PROCEDIMIENTOS Y OPERACIONES EN EL POZO. 2015. Disponible en: http://perfob.blogspot.com.co/2015/02/equipos-de-elevacion-de-tuberia-en-el.html#more</p> |
| <p>Llaves de potencia: También conocidas como tenazas, se usan conjuntamente con las cuñas para ajustar y desajustar las conexiones de tubería. En la mesa de trabajo se cuenta con dos juegos de tenazas, una que mantiene estático el tubo inferior, y otra que le permite dar torque al tubo superior.</p> | <p>Imagen 8. Llaves de potencia</p>  <p>Fuente: IADC. Uso inadecuado del girador de tubería de perforación resulta en un incidente de "tratamiento médico solamente". 2010. Disponible en: http://www.petrolnews.net/noticia.php?ID=qjcpbonl&r=12982</p> |

Cuadro 1. (Continuación)

| | |
|---|--|
| <p>Cadena de enroscar: Es una cadena de acero que se utiliza para realizar la manipular la conexión de la tubería.</p> | <p align="center">Imagen 9. Cadena de enroscar.</p>  <p>Fuente: Calculated Risk Films. Roughnecks at Work in HD - Drilling Rig Pipe Connection. 2014. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=KZxUiFVVEAQ</p> |
|---|--|

6.1.1.3 Sistema de Rotación

Cuadro 2. Equipos sistemas de rotación según Datalog¹¹.

| EQUIPO | REPRESENTACIÓN GRÁFICA |
|---|--|
| <p>Sarta de perforación: Es la tubería que permite conectar con la superficie y transmitir la potencia a la broca para que cumpla su función de perforar. Además, a través de esta circula el lodo de perforación que le permite llegar a fondo de pozo para refrescar la broca y bajar la temperatura generada por la fricción con la roca.</p> | <p align="center">Imagen 10. Ensamblaje de fondo de pozo (BHA).</p>  |
| <p>Broca: Es la herramienta que se conecta en la parte inferior de la tubería que posee elementos cortantes que permiten penetrar el subsuelo mientras hace un movimiento giratorio hasta llegar a la zona de interés, conectando así la superficie con el yacimiento.</p> | <p>Fuente: Méndez José. JIMDO. Sarta de perforación. Componentes de la Sarta. Disponible en: https://jmendezgar.jimdo.com/perforacion-de-pozos-petroleros/5-sartas-de-perforacion/5-2-componentes-de-la-sarta-de-perforaci%C3%B3n/</p> |

¹¹ DATALOG. Manual De Perforación. Procedimientos y operaciones en el pozo. . [sitio web]. Datalog, 3030 9th St SE, Calgary, Alberta, Canadá T2G 3B9. Traducido al Español V.1.0 Julio 2002 [consultado 13, abril, 2017]. p. 4. Disponible en: https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Manual_de_Perforacion_Procedimientos_y_Operaciones_en_el_Pozo.pdf

Cuadro 2. (Continuación)

| | |
|--|--|
| <p>Kelly: Es un tramo de la tubería de forma cuadrada, hexagonal o triangular y tiene como función transmitir el movimiento de rotación de la mesa rotatoria a la sarta de perforación.</p> | <p>Imagen 11. Mesa rotaria (Kelly).</p>  <p>Fuente: NOUS. Fundamentos de exploración y producción. Perforación De Pozos. Slide 7. Disponible en: https://es.slideshare.net/MagnusMG/perforacion-de-pozos-petroleros-42587724</p> |
| <p>Top Drive: Este equipo es un motor que va colgado del bloque viajero y le permite a la sarta de perforación rotar. El equipo cuenta con un elevador de tubería, una herramienta que le permite enroscar y desenroscar tubería, una cabeza rotatoria y válvulas de seguridad. Es importante resaltar que en el taladro de perforación solo se encontrara un elemento de rotación para la sarta de perforación, es decir, no se utiliza el Kelly y el top drive al mismo tiempo.</p> | <p>Imagen 12. Top Drive.</p>  <p>FUENTE: Nous. Fundamentos de exploración y producción. Perforación De Pozos. Slide 7. Disponible en: https://es.slideshare.net/MagnusMG/perforacion-de-pozos-petroleros-42587724</p> |

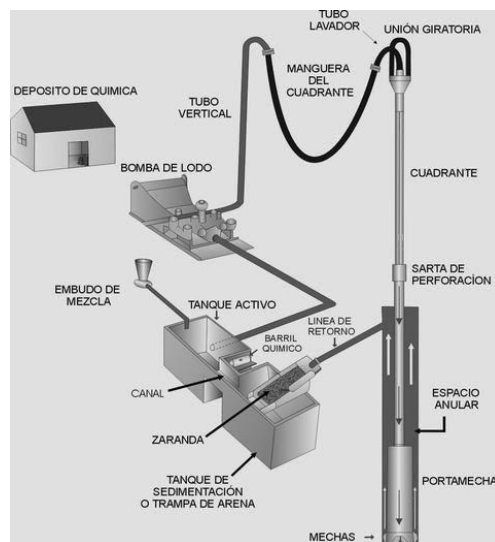
6.1.1.4 Sistema de Circulación

Según Wild Control¹² Es un sistema que está constituido por una serie de equipos y accesorios que permiten el movimiento continuo del lodo de perforación. El lodo es preparado en superficie utilizando equipos que mezclan distintas sustancias químicas que ayudan a hacer una contrapresión a la presión ejercida por el subsuelo para así evitar reventones y colapsos del hueco. Dentro de sus equipos están las bombas de lodo, que son las encargadas de impulsar el lodo por todo el

¹² WILD WELL CONTROL. Equipamiento. Wild well documents. [sitio web]. [consultado 4, marzo, 2017]. p. 141. Disponible en: <http://wildwell.com/literature-on-demand/literature/pressure-control-equipment-esp.pdf>

sistema; la zaranda, los hidrociclones, los desarenadores y las centrifugas, que son los equipos que limpian el lodo, es decir, remueven los ripios generados por la perforación; los tanques de almacenamiento, el desgacificador, que básicamente remueve el gas que adquirió el lodo mientras se encontraba en subsuelo; entre otros. El sistema de circulación es un sistema cerrado, y tiene doble función en la operación del taladro. En primera parte, el lodo es transportado a través de la sarta de perforación hasta salir por los jets de la broca; este lodo sale con una presión alta para ayudar a la broca a romper la roca y a su vez para lubricarse con el fin de evitar daños en los componentes cortantes y posibles atascamientos en fondo. Otra funcionalidad se basa en el transporte de los ripios que se hacen en fondo; la roca que se rompe es transportada a superficie por el lodo con el fin de evacuar el agujero y seguir perforando, así como también para dar información al equipo geológico en superficie para tener conocimiento de que formaciones son las que están atravesando y en qué punto del subsuelo se ubica la broca.

Imagen 13. Sistema de circulación.

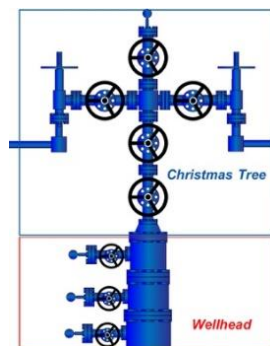


Fuente: Cinzia Zullian. Generalidades de perforación. Sistemas de perforación Rotaria. Sistema de circulación. 29 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://manejodepetroleoygas.blogspot.com.co/2013/12/generalidades-de-perforacion.html>

6.1.1.5 Sistemas de Seguridad

Según Wild Control¹³, cuando se presenta un reventón, es decir, un flujo incontrolado de líquido o gas proveniente de la formación que viaja por el pozo, es cuando entra en operación el sistema de seguridad. Este sistema tiene tres funciones principales. La primera, es cerrar el pozo una vez se presente un reventón, la segunda es colocar la suficiente contrapresión contra la formación para detener el influjo, y por último, este sistema debe permitirle al grupo de trabajo en la locación recuperar el control de la situación. Dentro de sus equipos primordiales se encuentran el conjunto de válvulas preventoras BOP's, un sistema múltiple de circulación y estrangulamiento, y las unidades de cierre a distancia.

Imagen 14. Sistema de válvulas de control de pozo (Árbol de navidad, cabeza de pozo).



Fuente: Dilling Formulas. Surface Christmas tree (Dry Tree) Basic Knowledge. 31 de julio de 2016. Disponible en: <http://perfob.blogspot.com.co/2016/08/conocimientos-basicos-del-arbol-de.html>

6.1.2. Generalidades del taladro de perforación de última generación o tecnología.

Los taladros automatizados además de contar con la mayoría de los instrumentos industriales que tienen los taladros convencionales, cuentan con sensores, controles como joysticks, sistemas integrados y nuevos equipos automáticos que le permiten al personal que trabaja en el taladro realizar sus tareas de una forma más segura, más cómoda y con menor esfuerzo físico. También, los operarios tienen acceso a pantallas que les permiten visualizar de forma digital datos y gráficas de los parámetros más importantes de la perforación como son la profundidad, el peso en el taladro, la presión en el hueco, entre otros según

¹³ Schlumberger. Los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. Programa de entrenamiento acelerado para supervisores. Presentación Schlumberger, documents. [sitio web]. [consultado 10 de marzo de 2017]. p. 4. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscincosistemasdelequipo.pdf>

Fernando Alvarado¹⁴ y compañeros de equipo de investigación. Además de esto, dichas pantallas no solo muestran los datos tomados por los sensores que están ubicados en los sistemas de rotación y levantamiento, sino que también permiten la visualización de los datos arrojados por los sensores ubicados en los demás sistemas (seguridad, circulación y potencia). Con esto, la perforación de un pozo está totalmente monitorizada en tiempo real, así que se puede saber qué es lo que está ocurriendo a nivel superficial y en cualquier parte del hueco. Estos taladros automatizados se consideraron óptimos para su utilización en trabajos que se llevaran a cabo en aguas profundas. Sin embargo actualmente se encuentra disponible para su utilización en la perforación terrestre. Dentro de las innovaciones tecnológicas con las que cuenta un taladro de última tecnología se encuentran:

6.1.1.1 Manejo de tubería

Huisman¹⁵ dice que esta herramienta está equipada con un manipulador automático de tuberías que permite un manejo altamente eficiente y seguro tanto del casing como del drill pipe. Esta herramienta posee la capacidad de recoger la tubería del soporte horizontal y la coloca vertical directamente sobre el centro del pozo donde se conecta con el top drive. En este sistema, el encuellador no será necesario. Además, en el piso de trabajo donde se encuentra el personal que manipula la cuña, manipularán también una herramienta conocida como floor-hand que reemplaza las llaves de potencia para enroscar, apretar y desajustar las conexiones.

Imagen 15. Floor - hand.

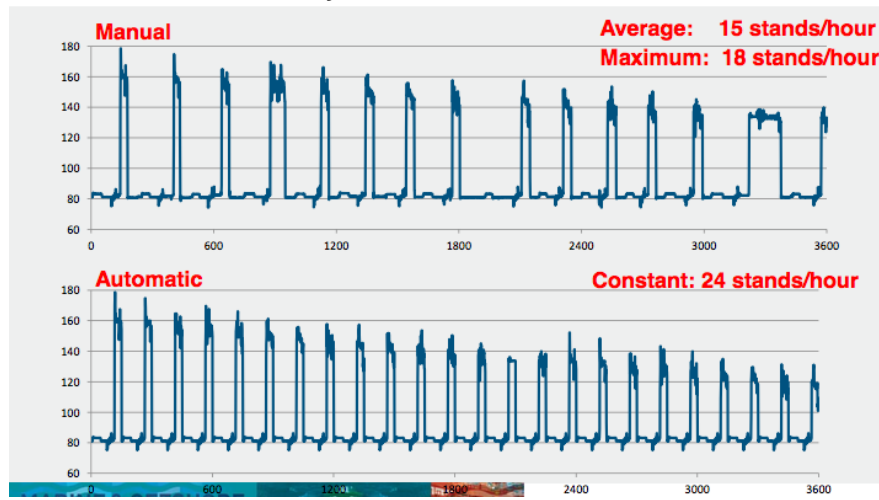


Fuente: Abdel, Asis. Riesgos mecánicos en taladros de perforación. Slide 11. Disponible en: <https://es.slideshare.net/JuanAbdelAziz/riesgos-mecnicos-en-taladros-perforacin>

¹⁴ ALVARADO Fernando; GALLARDO Mariano; ILLANES Tobías; ZAMORANO Osvaldo; LEGAZ Daniel. presentación de alumnos del instituto superior n° 1810 “escuela de petróleo de la Patagonia”: evolución cronológica y comparación de equipos torres de perforación [sitio web]. 17-18 de agosto de 2011 Comodoro Rivarria, Chubut. [consultado 01, junio, 2017]. Instituto argentino del petróleo y gas. Disponible en: <http://www.iapg.org.ar/seccionalsur/Diferencias.pdf>.

¹⁵ HUISMAN. CHALLENGES IN OFFSHORE AUTOMATION. Marine & offshore automation. RDM Campus Rotterman. [Sitio web]. 29 de octubre de 2013. [consultado 18, julio, 2017]. p. 6. Disponible en: http://geologie.vsb.cz/DRILLING/drilling/articles/5-brochure_loc_400_vf.pdf.

Imagen 16. Comparación de la cantidad de tubería conectada de forma manual y de forma automática.



Fuente: HUISMAN. Challenges in offshore automation. Marine & offshore automation. Slide 16. Disponible en: http://geologie.vsb.cz/DRILLING/drilling/articles/5-brochure_loc_400_vf.pdf.

Imagen 17. Manipulador automático de tubería (Automatic pipe handler).



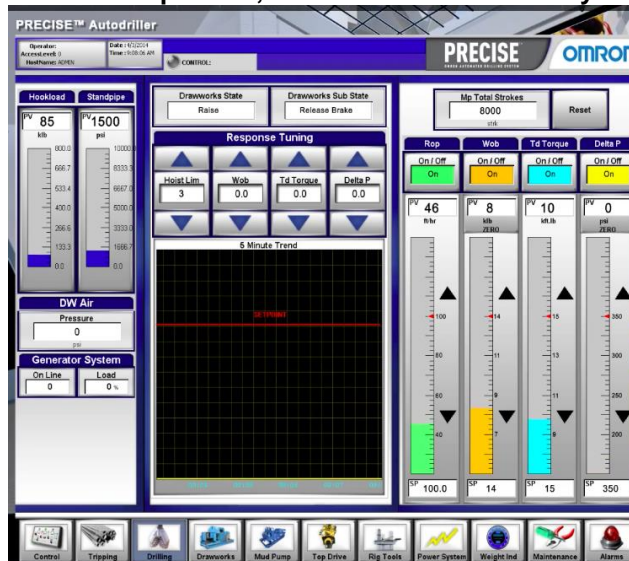
Fuente: HUISMAN. Challenges in offshore automation. Marine & offshore automation. Disponible en: http://geologie.vsb.cz/DRILLING/drilling/articles/5-brochure_loc_400_vf.pdf.

6.1.1.2 Autodriller

El autodriller se utiliza para mantener un peso constante en el la broca (WOB) y una velocidad constante de perforación (ROP) (Huisman¹⁶). La manipulación del malacate (drawworks) es muy preciso con el control de velocidad sin la necesidad de usar frenos mecánicos. Con esto, el resultado es un mejor rendimiento en la operación de perforación. Adicional a esto, la broca se desgastará menos y tendrá un mejor rendimiento a lo largo de su vida útil.

¹⁶ Ibid. p. 6.

Imagen 18. Vista digital de los parámetros más importantes de las operaciones de perforación (Velocidad de perforación, peso en broca, torque, diferenciales de presión, información de bombas y estado malacate).



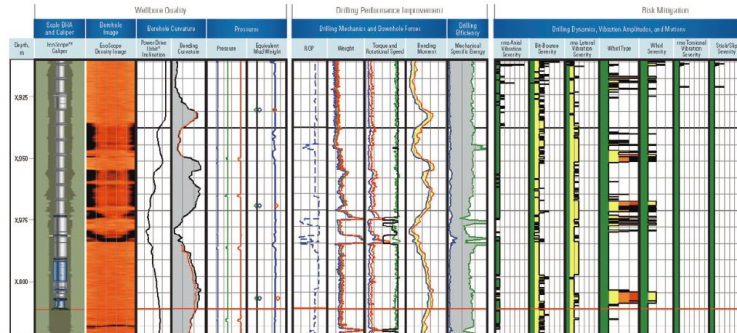
Fuente: PRECISE. Automated Drilling System. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=dXTssL768Rw>

6.1.1.3 Inteligencia de perforación en tiempo real.

La inteligencia de perforación en tiempo real ofrece una serie de medidas del proceso de perforación incluyendo fuerzas, presiones, temperaturas, velocidades de rotación, vibraciones e información sobre los movimientos dinámicos que se producen en el fondo del pozo. Para la compañía Harmer¹⁷ Un sistema de visualización en la cabina del perforador integra perfectamente los datos de superficie con datos de pozo en tiempo real, proporcionando información sobre el movimiento de la herramienta que se encuentra ensamblada en el fondo del pozo (BHA), la eficiencia de perforación y las tendencias de presión de fondo de pozo. Esta herramienta se compone de varios sensores integrados en el BHA y que trabajando conjuntamente permiten la detección temprana de los peligros de perforación y las condiciones que podrían limitar la velocidad de perforación (ROP). La información proporcionada inmediatamente al equipo de perforación le permite al grupo de trabajo ajustar los parámetros para compensar la dinámica extrema del pozo y mejorar el rendimiento.

¹⁷ HARMER, Richard. Schlumberger UK. A new real time intelligence service that enables operators to mitigate risks and optimise performance. [sitio web]. Febrero de 2015. [consultado 18, julio, 2017]. Schlumberger file, documents, industry articles. p. 3. Disponible en: http://www.slb.com/~media/Files/drilling/industry_articles/201502_oilfield_technology_optidrill.pdf

Imagen 19. Pantalla digital que ilustra la información del estado del pozo, la operación de los distintos equipos de perforación y los registros eléctricos que datan las condiciones de fondo de pozo.



Fuente: HARMER, Richard. Schlumberger UK. A new real time intelligence service that enables operators to mitigate risks and optimise performance. Disponible en: http://www.slb.com/~/media/Files/drilling/industry_articles/201502_oilfield_technology_optidrill.pdf

6.1.1.4 Cabina del perforador:

Todo el proceso de perforación se controla desde la cabina del perforador, mediante computadores y controles específicos se controla toda la operación del taladro. Además, se implementó un sistema de comunicación sofisticado para que parámetros que solo se evidenciaban en el sitio y, que solo se visualizaban en las pantallas del equipo en el taladro, sean transmitidos vía satelital y lleguen a los centros de control donde hay otro equipo de expertos que se encuentran lejos de las instalaciones de trabajo operativo y que intervienen en la toma de decisiones, Todo esto lo explicó Harmer¹⁸ en su documento.

Imagen 20. Cabina del perforador.

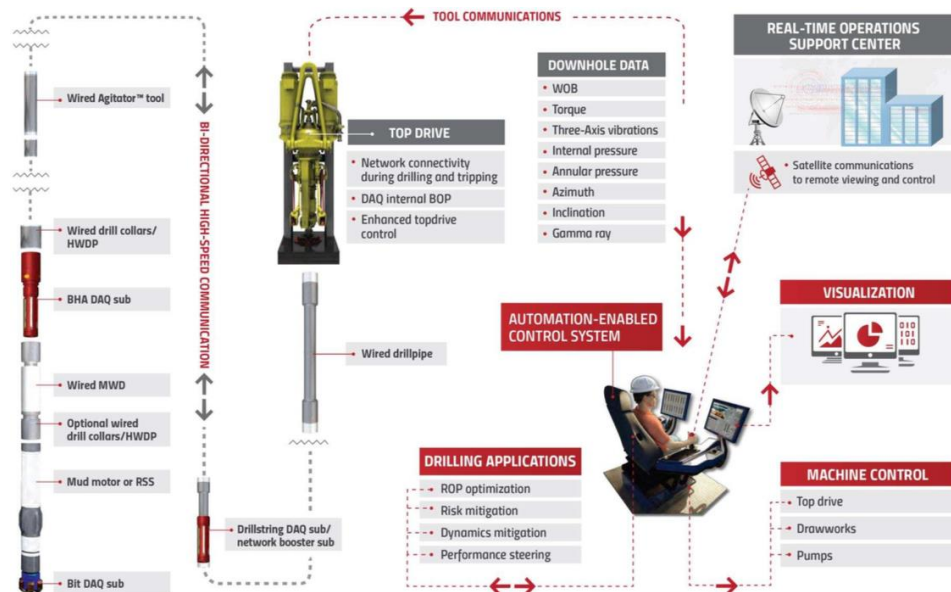


Fuente: HUISMAN. Challenges in offshore automation. Marine & offshore automation. Disponible en: < http://geologie.vsb.cz/DRILLING/drilling/articles/5-brochure_loc_400_vf.pdf>.

¹⁸ Ibid. p. 4.

La imagen 21 ilustra como la información fluye desde fondo de pozo hasta el centro de apoyo que no se encuentran adentro de las locaciones de trabajo. Detallando el flujo de información, se ve como los datos obtenidos viajan desde fondo de pozo, pasan a través de la cabina del perforador y siguen su curso hasta el centro de apoyo. Igualmente sucede con la toma de decisiones, solo que en sentido contrario; el centro de apoyo envía vía satelital instrucciones de operación al perforador y éste las ejecuta mediante su puesto de trabajo enviando señales eléctricas a los distintos equipos que están bajo su operación. Dentro de los beneficios de esta modalidad de operación, se encuentra una optimización en la ROP, una mitigación en el riesgo y una mejor desempeño de la dirección y toma de decisiones.

Imagen 21. Flujo de información y toma de decisiones entre fondo de pozo y el centro de apoyo.



Fuente: Maiwald, Javan. National oilwell varco drilling automation and optimization. 2017. Slide 23. Disponible en: <https://www.slideshare.net/JavanMeinwald/national-oilwell-varco-drilling-automation-and-optimization-2017-03-03>

7. COSTOS DE OPERACIÓN

7.1.1 TALADRO CONVENCIONAL

Los datos registrados en la siguiente tabla representan los costos de operación de un pozo petrolero perforado en los Llanos Orientales de Colombia con un taladro convencional que cuenta con una potencia de 750 caballos de potencia (750 HP). El pozo duró en operaciones 27 días entre los meses de febrero y marzo del año 2015, y alcanzó una profundidad de cuatro mil pies (4.000 ft).

Tabla 1 Costos de operación de un taladro convencional.

| DESCRIPCIÓN | VALOR TOTAL (USD) |
|--|-------------------|
| ALQUILER FLOTA Y EQUIPO DE TRANSPORTE | 516,26 |
| | 516,26 |
| BROCAS | 15.722,25 |
| COMBUSTIBLE | 2.344,72 |
| INGENIERÍA /SUMINISTRO Y REGISTRO DE LODOS | 160.075,26 |
| | 178.142,23 |
| MOVILIZACIÓN ENTRE POZOS | 250.543,00 |
| | 250.000,00 |
| OPERACIÓN DE TALADRO | 432.752,00 |
| | 432.752,00 |
| SEGURIDAD FÍSICA | 1.363,17 |
| | 1.363,17 |
| ALIMENTACIÓN Y HOSPEDAJE EN CAMPO | 93.104,45 |
| ALQUILER CAMPAMENTOS | 14.179,36 |
| ALQUILER HERRAMIENTAS | 3.645,88 |
| BOMBEO / UNIDAD DE CEMENTACIÓN / ADITIVOS | 79.749,08 |
| HERRAMIENTAS DIRECCIONALES | 209.862,60 |
| REGISTRO DE LODOS – MUD LOGGING | 41.697,65 |
| REGISTROS ELÉCTRICOS / PERFORACIÓN | 34.502,00 |
| SERVICIO DE COMUNICACIONES | 792,48 |
| SERVICIO INSPECCIÓN TUBERÍA Y HERRAMIENTA | 2.454,84 |
| TRANSPORTE TERRESTRE | 1.742,98 |
| | 481.731,32 |
| ASESORÍAS, HONORARIOS, ASISTENCIA TÉCNICA | 5.980,00 |
| SUPERVISIÓN EXTERNA + TÉCNICOS | 26.005,37 |
| | 31.985,37 |
| CABEZAL DE POZO + ÁRBOL DE NAVIDAD | 14.619,68 |

Tabla 1 (Continuación).

| | |
|--|---------------------|
| COMBUSTIBLE | 223,36 |
| COMPLETAMIENTO (FINALIZACIÓN DE CADENA (PROCESO) Y ACCESORIOS) | 235.120,00 |
| MATERIALES MECÁNICOS Y ACCESORIOS | 562,19 |
| TUBERÍA (REVESTIMIENTO & PRODUCCIÓN) | 175.840,78 |
| | 426.366,01 |
| TRANSPORTE AÉREO | 4.585,05 |
| TRANSPORTE DE CARGA | 916,61 |
| TRANSPORTE TERRESTRE | 23.934,11 |
| | 29.435,77 |
| VALOR TOTAL DEL POZO | 1.832.292,13 |
| VALOR DÍA DE POZO | 67.862,67 |

Fuente: por concepto de seguridad, la fuente de esta información es confidencial.

Los datos resaltados en color verde corresponden a los valores más altos de toda la tabla ya que son los ítems que más costos generan en las operaciones de perforación. En primer lugar, se encuentran el costo generado por la movilización de las instalaciones entre pozos (250.543 USD). Esta cifra varía dependiendo de la cantidad de días y camiones que sean necesarios para realizar la movilización completa (Silva, Oswaldo) ¹⁹.

El segundo dato corresponde al costo generado por la utilización del taladro. Normalmente en Colombia, las compañías prestadoras de servicios de la industria petrolera poseen como activos taladros de perforación y los rentan a las compañías operadoras facturando día a día su alquiler. Para este caso, como es un taladro convencional, su precio oscila entre los 24.000 USD y 26.000 USD diarios en el mercado (Silva, Oswaldo) ²⁰. Sin embargo, esta tarifa solo aplica para los días que se mantuvo el taladro en operaciones de perforación, es decir, los 432.752 USD se deben al uso del taladro en los 17 días que duraron las operaciones de perforación.

Por último, para obtener el costo del completamiento del pozo existe una semejanza con la obtención del costo del taladro en operaciones de perforación; la diferencia radica en que para los días en los que se cumplió el completamiento la tarifa diaria del taladro es más baja. Por lo general, la tarifa diaria para este

¹⁹ SILVA MONROY, Oswaldo. Ingeniero de petróleos. Frontera Energy. Coordinador de departamento de perforación en Casanare Colombia. Entrevista Costos operativos de los taladros convencionales y de los taladros de última generación. Bogotá. 10 de Diciembre de 2016.

²⁰ Ibid.

caso oscila entre los 23.000 USD y los 24.000 USD (Silva, Oswaldo) ²¹. Por lo tanto, los diez días que duró el taladro en operaciones de completamiento suma una cifra de 235.120 USD.

7.1.2 Taladro de última tecnología.

Los datos registrados en la siguiente tabla representan los costos de operación de un pozo petrolero perforado en los Llanos Orientales de Colombia con un taladro de última tecnología que cuenta con una potencia de 750 caballos de potencia (750 HP). El pozo duró en operaciones 19 días entre los meses de abril y mayo del año 2015, y alcanzó una profundidad de cuatro mil pies (4.000 ft).

Tabla 2. Costos de operación de un taladro de última tecnología.

| DESCRIPCIÓN | VALOR TOTAL (USD) |
|--|-------------------|
| ALQUILER FLOTA Y EQUIPO DE TRANSPORTE | 1.438,07 |
| | 1.438,07 |
| BROCAS | 9.964,61 |
| COMBUSTIBLE | 308,82 |
| INGENIERÍA /SUMINISTRO Y REGISTRO DE LODOS | 95.930,89 |
| | 106.204,32 |
| MOVILIZACIÓN ENTRE POZOS | 220.180,00 |
| | 220.543,00 |
| OPERACIÓN DE TALADRO | 338.808,00 |
| | 338.808,00 |
| SEGURIDAD FÍSICA | 1.013,75 |
| | 1.013,75 |
| ALIMENTACIÓN Y HOSPEDAJE EN CAMPO | 2.318,26 |
| ALQUILER CAMPAMENTOS | 1.681,75 |
| ALQUILER FLOTA Y EQUIPO DE TRANSPORTE | - |
| ALQUILER HERRAMIENTAS | 4.265,57 |
| BOMBEO / UNIDAD DE CEMENTACIÓN / ADITIVOS | 51.123,12 |
| HERRAMIENTAS DIRECCIONALES | 152.140,39 |
| REGISTRO DE LODOS – MUD LOGGING | 15.351,34 |
| REGISTROS ELÉCTRICOS / PERFORACIÓN | 25.234,31 |
| SERVICIO DE COMUNICACIONES | 498,11 |
| SERVICIO INSPECCIÓN TUBERÍA Y HERRAMIENTA | 3.104,20 |
| TRANSPORTE TERRESTRE | - |
| | 255.717,05 |

²¹ Ibid.

Tabla 2 (Continuación).

| | |
|--|---------------------|
| ASESORÍAS, HONORARIOS, ASISTENCIA TÉCNICA | 3.073,98 |
| SUPERVISIÓN EXTERNA + TÉCNICOS | 11.673,84 |
| | 14.747,82 |
| CABEZAL DE POZO + ÁRBOL DE NAVIDAD | 14.513,48 |
| COMBUSTIBLE | 308,82 |
| COMPLETAMIENTO (FINALIZACIÓN DE CADENA (PROCESO) Y ACCESORIOS) | 189.861,00 |
| TUBERÍA (REVESTIMIENTO & PRODUCCIÓN) | 19.064,76 |
| | 223.748,06 |
| TRANSPORTE AÉREO | 1.533,53 |
| TRANSPORTE DE CARGA | 135,47 |
| TRANSPORTE TERRESTRE | 16.245,74 |
| | 17.914,74 |
| SEGUROS | 1.013,75 |
| SERVICIO INSPECCIÓN TUBERÍA Y HERRAMIENTA | 3.104,20 |
| | 4.117,95 |
| VALOR TOTAL DEL POZO | 1.184.252,76 |
| VALOR DÍA | 62.329,09 |

Fuente: por concepto de seguridad, la fuente de esta información es confidencial.

Los datos anteriormente presentados se analizan de la misma forma que los costos de el taladro convencional, la diferencia se presenta en el diseño, las especificaciones técnicas y la tarifa diaria con la que se factura el taladro de última tecnología. Entonces, los 220.180 USD generados por la movilización de las instalaciones entre pozos es menor que los costos generados por el taladro convencional (250.543 USD), y esto se debe a que el equipo del taladro de última tecnología utiliza una menor cantidad de días y camiones para completar su movilización entre pozos.

Los taladros de última generación se manejan en el mercado petrolero con una tarifa diaria que se encuentra entre los 26.500 USD y los 29.000 USD (Silva, Oswaldo)²². Aunque es un valor mayor que la tarifa diaria que poseen los taladros convencionales, la cantidad de días que duró en operaciones es menor. Es así que los 338.808 USD son el resultado de la utilización del taladro en operaciones de perforación durante los 12 días que duraron las operaciones para llegar a fondo de pozo.

²² Ibid.

Para finalizar, la tarifa diaria que tiene el taladro de última tecnología para las operaciones de completamiento varía entre 25.200 USD y 27.500 USD (Silva, Oswaldo)²³, por lo que los 189.861 USD son el producto del trabajo del taladro de última tecnología durante los 7 días que duraron las operaciones de completamiento. El valor diario del pozo se estimó realizando la división del costo total del pozo entre los 19 días que duraron las operaciones.

Como conclusión, el tiempo de diferencia que existe entre un equipo y otro es uno de los más importantes elementos que atribuye a la notoria diferencia de los costos totales de operación; los días de más que le toma al taladro convencional lograr los 4.000 pies le cuestan a la compañía 648.000 USD.

Otro aspecto importante a resaltar de las tablas 3 y 4, son los costos generados por el alquiler de herramientas, la asesoría externa, pago de honorarios, asistencia técnica y supervisión externa por técnicos. Estos costos están relacionados entre sí porque son generados por problemas operacionales que generan tiempos no productivos²⁴. Normalmente cuando ocurren problemas de tubería o problemas con los equipos, en varios casos es necesario recurrir a una compañía prestadora de servicios para que solucione el problema. Entonces, se evidencia por los valores de las tablas que la suma de los costos generados por estos ítems en el taladro convencional (29.631,25 USD) es mayor que la suma de estos mismos en el taladro de última tecnología (19.013,39 USD); y esto se debe a que los taladros de última tecnología cuentan con sistemas que minimizan las fallas de fondo de pozo, atascamiento de tubería, operaciones de pesca y desviamiento de pozo²⁵. Además, por ser menos complejos facilitan su manipulación y se requiere de menor tiempo para su mantenimiento (Silva, Oscar). Cabe resaltar, que no todos los pozos presentan los mismos NPT's, y esto hace que varíe de pozo a pozo su valor.

²³ Ibid.

²⁴ SILVA BUSTOS, Oscar R, Ingeniero de petróleos. Líder de perforación, Ecopetrol. Entrevista causas e impactos de los tiempos no productivos en las operaciones. Bogotá, 22 de Marzo de 2016.

²⁵ HARMER, Richard. Schlumberger UK. A new real time intelligence service that enables operators to mitigate risks and optimise performance. [sitio web]. Febrero de 2015. [consultado 18, julio, 2017]. Schlumberger file, documents, industry articles. p. 3. Disponible en: http://www.slb.com/~media/Files/drilling/industry_articles/201502_oilfield_technology_optidrill.pdf

8. TIEMPO NO PRODUCTIVO EN UN POZO PETROLERO (NPT)

Según Morris Keene²⁶, gerente de perforación de Occidental Petroleum (Oxy), todo lo que sucede fuera del plan original del pozo es un tiempo no productivo (NPT). Además, añadió que el aumento de la dificultad y complejidad para perforar el suelo, ya sea marítimo o terrestre, los equipos del taladro también han aumentado su complejidad incorporando computadoras programables y softwares. Con este escenario, el señor Keene opina que el diseño complejo de los equipos modernos ha hecho que el factor humano presente inconvenientes a la hora de su manipulación, ya que la tecnología está avanzando más rápido que las capacidades humanas para su correcta manipulación. David Payne²⁷, vicepresidente del departamento de perforación y completamiento de Chevron, opinó que los pozos en los que se están utilizando los equipos de última tecnología no están modernizando las técnicas de perforación y se están utilizando de la misma manera que se hacía con los taladros convencionales.

En Colombia, según Oscar Silva, profesional experto líder de perforación de Ecopetrol, las mayores causas de los tiempos no productivos en los pozos petroleros se deben falencias en las operaciones debido a un mal manejo de los equipos, un mal mantenimiento de los mismos, un surgimiento repentino de situaciones adversas a la operación planeada, una falla técnica tanto en el plan como de los equipos, una espera de locaciones o un problema con la comunidad. El señor Silva comentó que las primeras dos falencias, un mal manejo de equipo y un mal mantenimiento, están contempladas como fallas operacionales y se presentan en una medida considerable a causa de un error humano.

8.1 Costos por NPT

En el 2015 se hizo una recopilación de los NPT's que sucedieron en los primeros cuatro meses del año de un campo petrolero en los Llanos Orientales perforado en su gran mayoría por taladros de última tecnología. En la tabla 3 se evidencia la cantidad de pozos que se encontraban en operación para entonces, el número total de horas de operaciones en el mes, la cantidad de NPT para espera de locaciones, problemas con la comunidad y problemas operacionales; por último, está el dato promedio de los tiempos no productivos por pozo.

²⁶ HSIEH, Linda. RIG NPT: THE UGLY TRUTH. Drilling rigs & automation, features. . [sitio web]. Septiembre/Octubre de 2010. [consultado 12, febrero, 2017]. Disponible en:< <http://www.drillingcontractor.org/rig-npt-the-ugly-truth-6795>.

²⁷ Ibid.

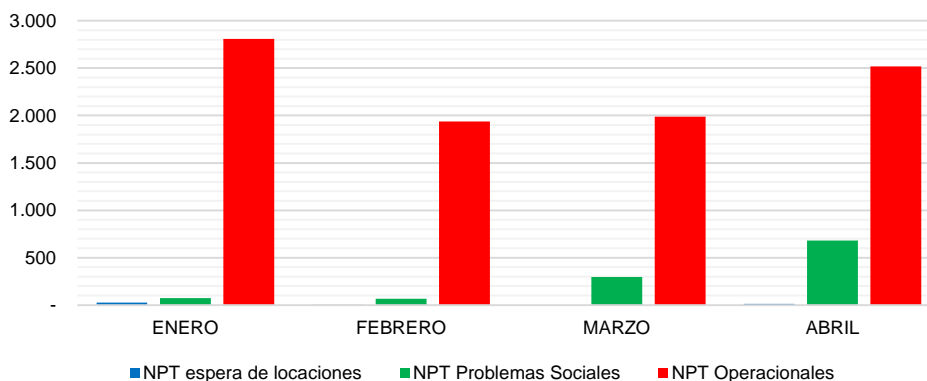
Tabla 3. Cantidad de horas NPT para los primeros 4 meses de 2015.

| | 2015 | | | |
|---------------------------------|--------|---------|--------|--------|
| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL |
| Pozos en Operación | 27 | 24 | 23 | 21 |
| Operación Total (Hrs) | 14.385 | 12.680 | 12.923 | 12.276 |
| NPT espera de locaciones | 27 | 1 | 0 | 12 |
| NPT Problemas Sociales | 73 | 68 | 295 | 681 |
| NPT Operacionales | 2.810 | 1.936 | 1.988 | 2.519 |
| NPT TOTAL | 2.910 | 2.005 | 2.283 | 3.212 |
| Promedio Hrs NPT/Pozo | 108 | 84 | 99 | 153 |

Fuente: por concepto de seguridad, la fuente de esta información es confidencial.

En la gráfica 1 se encuentra la representación en barras de las horas denominadas como tiempos no productivos que corresponden a cada mes y a cada falencia registrada (problemas sociales, problemas operativos y espera de locaciones). Es evidente que la cantidad de NPT's registrados por problemas operacionales es mucho mayor con respecto a la cantidad de horas registradas por problemas con la comunidad y con la espera de locaciones.

Gráfica 1. Cantidad de horas NPT para los primeros 4 meses del año 2015.



Fuente: Autor.

A partir de los datos de la tabla 3, se generó la tabla 4. Partiendo de la cantidad de pozos en operación y la cantidad total de horas de operación se estimó el número promedio de horas por pozo. Una vez estimadas las horas que tardaba cada pozo, se determinó el número de días totales de operación para cada pozo. Con el valor *día de pozo* que se encuentra en la última fila de la tabla 2, se estimó el valor de una hora operacional. A partir de este valor, se determinó el costo total de un pozo, que multiplicado por la cantidad de pozos en operación da el resultado del valor total de la campaña al mes.

Para calcular el valor de los costos generados por los NPT's, se multiplicó el valor de la hora operacional por la cantidad de horas NPT's registradas para espera de locaciones, problemas con la comunidad y problemas operacionales.

Tabla 4. Valor de las horas NPT y su respectivo porcentaje respecto al valor de la campaña mensual.

| | 2015 | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL |
| Pozos en Operación | 27 | 24 | 23 | 21 |
| Operación Total (Hrs) | 14.385 | 12.680 | 12.923 | 12.276 |
| Promedio Hrs/Pozo | 533 | 528 | 562 | 585 |
| Promedia Días/Pozo | 22 | 22 | 23 | 24 |
| Promedio valor Pozo/Día (USD) | 62.329,09 | 62.329,09 | 62.329,09 | 62.329,09 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.383.648 | 1.372.106 | 1.459.201 | 1.518.159 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 37.358.498 | 32.930.536 | 33.561.618 | 31.881.330 |
| Valor Hora operacional (USD) | 2.597 | 2.597 | 2.597 | 2.597 |
| NPT espera de locaciones (Hrs) | 27 | 1 | 0 | 12 |
| Valor NPT espera de locaciones (USD) | 70.120 | 2.597 | - | 31.165 |
| NPT Problemas Sociales (Hrs) | 73 | 68 | 295 | 681 |
| Valor NPT Problemas Sociales (USD) | 189.584 | 176.599 | 766.128 | 1.768.588 |
| NPT Operacionales (Hrs) | 2.810 | 1.936 | 1.988 | 2.519 |
| Valor NPT Operacionales (USD) | 7.297.698 | 5.027.880 | 5.162.926 | 6.541.957 |

Fuente: Autor.

Analizando el costo total de los NPT's generados por problemas operacionales, se ve que la suma de los 4 meses es de 24'036.461 USD, y este valor es el 17,70% de la inversión total hecha durante el periodo de enero-abril del año 2015. Este número es elevado considerando de que es gastado en operaciones que no estaban contempladas dentro del plan inicial, y que pudieron haber surgido por diferentes razones como el clima, el terreno, los equipos y lo errores humanos.

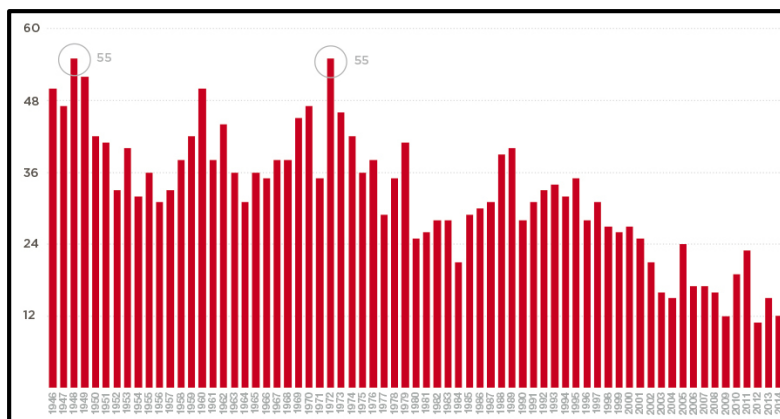
Con el fin de reducir en parte tal cantidad de dinero, una de las razones en las que se puede hacer intervención es en la del error humano. Es por eso que en este documento se plantea la estrategia de cómo las buenas prácticas de automatización de procesos aplicadas por la industria de la aviación minimizarían los costos ocasionados del NPT operacional que son en gran parte causados por el error humano.

9. LA AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA AVIACIÓN.

En la actualidad las estadísticas determinan que a nivel mundial es más seguro viajar en una aeronave que viajar en un medio de transporte terrestre o marítimo²⁸. En el año 2015 se cuantificó que desde el año 1973 la cantidad de pasajeros transportado anualmente ha aumentado en más de un 700%, alcanzando en el 2013 la cifra de 3.000 millones de pasajeros que tomaron al menos un vuelo en el año²⁹.

Así mismo, existen estadísticas que datan la cantidad de accidentes y de fallecidos que se han registrado desde la década de los años cuarenta, como se evidencian en la gráfica 2. Observando detenidamente esta gráfica, que registra la cantidad de accidentes en el periodo 1946-2014, se observa que los años 1947 y 1972 son los que más accidentes registraron a lo largo de la historia. Sin embargo, desde el año 1972, donde el transporte de pasajeros ya superaba la cifra de los 400 millones³⁰, la gráfica continúa con una ligera tendencia negativa teniendo un ligero repunte en el año 1989. Esto demuestra que la industria de la aviación, al transportar algo tan valioso como lo son los seres humanos, ha venido trabajando arduamente el tema de la seguridad para que cada año se registren menos accidentes.

Gráfica 2. Cantidad de accidentes registrados en el periodo 1946-2014.



²⁸ JAMES, Keith. WHAT IS THE SAFEST WAY TO TRAVEL – BY PLANE, CAR, TRAIN...SPACE SHUTTLE? [En línea]. 15 de Febrero de 2013. . [sitio web]. [consultado 12, junio, 2017]. Disponible en:< <http://961theeagle.com/what-is-the-safest-way-to-travel-by-plane-car-train-space-shuttle/>>.

²⁹ NAFRIA, Ismael. MAS DE 3.000 MILLONES DE PASAJEROS VIAJAN CADA AÑO EN AVION. [En línea]. 2 de marzo de 2015. . [sitio web]. [consultado 16, junio, 2017]. Disponible en:< <http://www.lavanguardia.com/vangdata/20150402/54429403942/mas-de-3-000-millones-de-pasajeros-viajan-cada-ano-en-avion.html>>.

³⁰ Ibid.

Fuente: Maria Gonzales. Si viajar en avión en lo mas seguro, ¿Por qué le seguimos temiendo?. Disponible en: <https://www.xataka.com/vehiculos/si-viajar-en-avion-es-lo-mas-seguro-por-que-le-seguimos-teniendo-miedo>

A través de los años han ocurrido una gran cantidad de accidentes catastróficos donde se han perdido miles de vidas, y cada catástrofe trae consigo unas lecciones que le han permitido a ésta industria aprender de los errores para no volver a cometerlos (Thorogood³¹). Las estadísticas demuestran que en el 80% de los accidentes se ha evidenciado que las fallas fueron de carácter humano (Segura y Choconta³²), es decir, alguien que no estuvo atento mientras realizaba su trabajo ya sea por distracción, cansancio, ignorancia, terrorismo, exceso de confianza y escepticismo a la ocurrencia de posibles catástrofes (Segura y Choconta³³). También existieron catástrofes generadas por fallas en los equipos de la aeronave o fallas generadas por las condiciones climáticas en los instrumentos que a su vez ocasionaron la mala toma de decisiones por parte de la tripulación a cargo de la aeronave (Gomez³⁴). Sin embargo, también se han presentado situaciones en las cuales se han evitado catástrofes aéreas con un buen manejo de los sistemas automatizados de la aeronave y una buena toma de decisiones sobre ellas, como lo fue el caso del río Hudson (Thorogood³⁵). En dicho caso, el capitán de la aeronave supo manejar su inteligencia emocional y así lidió con la situación de emergencia que sufrió en pleno sobrevuelo a la ciudad de New York. Aunque la alternativa que tomó para controlar la situación nunca se había probado fuera de un simulador, su experiencia le llevó a tomar una serie de decisiones que les permitieron a más de ciento cincuenta personas sobrevivir a tal emergencia.

³¹ THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation [sitio web]. SPE-151257-PA. [consultado 01, mayo, 2017]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>

³² SEGURA, Enrique; CHOCONTA, Igor. Seguridad Aérea E Influencia Del Factor Humano En El Mantenimiento E Inspección De Aeronaves En Colombia. Ingeniería aeronáutica. Universidad de San Buen Aventura. [sitio web]. p. 14. [consultado 5, mayo, 2017]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/42891.pdf>

³³ *ibid.* p. 14.

³⁴ GOMEZ, Roberto Julio. LA AUTOMATIZACION. 11 de febrero de 2015. Sitio web especializado en temas aeronáuticos. Argentina. [consultado 16, junio, 2017]. Disponible en: <http://www.flap152.com/2015/02/la-automatizacion.html>.

³⁵ THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation [sitio web]. SPE-151257-PA. [consultado 01, mayo, 2017]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>

La disminución del error humano en la operación de las aeronaves no fue el único motivo por el cual la automatización de procesos tomó fuerza en esta industria, otra causa importante fue el aspecto económico. La disminución en el gasto de combustibles, los costos operativos, reducción en los costos por mantenimiento de los equipos, reducción en la carga de trabajo de los operarios y una satisfacción laboral de los trabajadores que se traduciría en un aumento en la productividad de los mismos, son las características más importantes que se han beneficiado por el uso de sistemas automatizados³⁶.

Hoy en día la automatización representa un papel muy importante en el mundo de la aviación. Su presencia en las aeronaves es muy útil para mejorar el rendimiento de los pilotos y mejorar la seguridad de las operaciones. En los años cincuenta y sesenta se tenía la creencia de que los accidentes de aviones tenían en su mayoría de veces alguna relación con fallas causadas por el factor humano de las operaciones. La raíz de muchos de los siniestros se debió a un rendimiento defectuoso que terminó en una pérdida total de control de la aeronave por parte del piloto por factores como por ejemplo la fatiga, la falta de atención, el exceso de carga de trabajo, la mala gestión del estrés, etc. Debido a esto, se buscó la solución al problema en innovaciones tecnológicas que le ayudaran al piloto a manejar tales factores negativos³⁷.

La compañía Aviones Comerciales Boeing (Boeing Commercial Airplanes), publicó un documento en 2016 donde presenta un resumen de las estadísticas de los accidentes registrados desde la década de los 60 hasta el año 2016. La grafica 3 representa la cantidad de accidentes documentados desde antes del año 1960 hasta el 2016. Analizando detalladamente la línea verde oscuro punteada, que se refiere la tasa de accidentes ocurridos por cada millón de vuelos, se observa que desde la década de los años sesenta la implementación de algunas innovaciones tecnológicas tuvo un efecto positivo y se ve reflejado en la caída de la curva de accidentes aéreos³⁸. Y no solo se observó la reducción de la cantidad de accidentes por cada millón de vuelos, sino que también se presentó una

³⁶ CHIALASTRI, Antonio. AUTOMATION IN AVIATION. 2012. [sitio web]. [consultado 16, junio, 2017]. p. 83. Disponible en: [Http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf).

³⁷ Ibid. p. 81.

³⁸ BOEING. STATISTICAL SUMMARY OF COMMERCIAL JET AIRPLANE ACCIDENTS. Worldwide Operations 1959-2016. Julio 2017. [sitio web]. [consultado 16, agosto, 2017]. p. 16. Disponible en: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf.

reducción en algunos aspectos económicos que beneficiaron la industria y así mismo el tema ambiental (Chialastri³⁹).

Según las estimaciones de la IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo), "una reducción del uno por ciento en el consumo de combustible se traduce en un ahorro anual de 100.000.000 de dólares al año para los transportistas de la IATA " (OACI: Organización de Aviación Civil Internacional, 1998). Chialastri⁴⁰ dice que con la disminución de peso de los aviones por la implementación de sistemas eléctricos en vez de mecánicos, la inclusión de un computador que tuviera la capacidad de operar el avión de manera balanceada y que adicionalmente realizara los cálculos y las predicciones más exactas y en menor tiempo para la elección una ruta más eficiente y más segura en comparación con la tripulación del vuelo; fueron las principales áreas que al intervenirlas permitieron una disminución en el uso de combustible y por lo tanto en costos.

La reducción en los costos por mantenimiento también fue significativa, dejar de depender de tantos instrumentos individuales, teniendo en cuenta que la cifra de elementos de un avión comercial puede llegar a ser de un millón de piezas de las cuales se debe tener repuesto, se optó por pasar a elementos que se podían combinar y que disminuyeron tanto los costos de capacitación para los operarios de mantenimiento, como los costos por el uso del espacio en bodega en cada hangar para suplir los elementos que presentaran fallos (Chialastri⁴¹).

Según Chialastri⁴² La flexibilidad operacional también tuvo lugar en la reducción de gastos operativos. Los pilotos al poseer una menor carga laboral y una gran cantidad de ayudas tecnológicas, reformaron la manera de volar y ya no era necesario tener contacto visual del suelo, o un cielo despejado para hacer un vuelo óptimo; la nueva tecnología les permitía aumentar la velocidad, volar entre las nubes con poca visibilidad o de noche, y así mismo hacer aproximaciones a tierra con las mismas condiciones sin ningún percance alguno, lo que aumentó la cantidad de vuelos en el día; por ende un aumento en los ingresos de las compañías.

³⁹ CHIALASTRI, Antonio. Automation. Chapter 5. Automation in aviation. 2012. Intech open. ISBN 978-953-51-0685-2 [sitio web]. [consultado 16, junio, 2017]. p. 81. Disponible en: http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf.

⁴⁰ Ibid. p. 88.

⁴¹ Ibid. p. 88

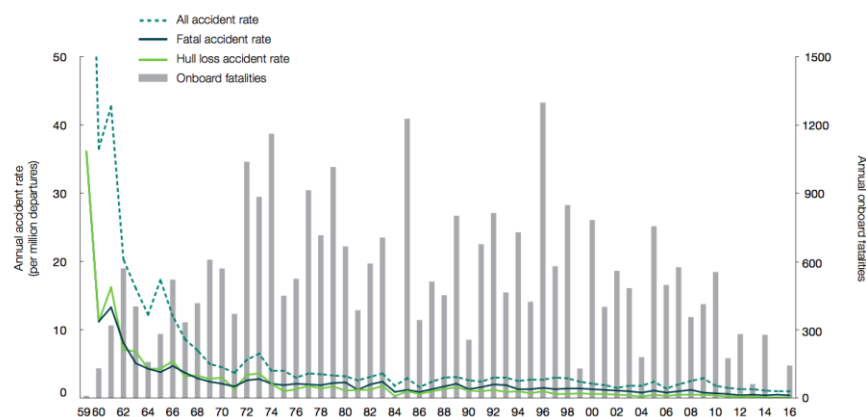
⁴² Ibid. p. 89

Observando la gráfica 3 se ven algunos repuntes. Analizando el aumento de accidente de mediados de la década de los años setenta, expertos en aviación determinaron que los accidentes se causaron en gran medida por un error humano, ya que los aviones no presentaron ninguna falla en su funcionamiento⁴³.

La conclusión que se sacó fue que ocurrieron fallas en la interacción entre el piloto y su copiloto, lo que ocasionó la pérdida de conciencia de las operaciones de trayectoria de la aeronave tanto en sentido vertical como en sentido horizontal⁴⁴.

Para este nuevo problema se encontró una solución proveniente del campo de la psicología. Expertos en factores humanos desarrollaron técnicas y procedimientos para mejorar la cooperación entre el piloto y el copiloto. Las capacitaciones que se dictaron poseían un fundamento no teórico basado en el desarrollo de habilidades de coexistencia con los demás integrantes de la tripulación del vuelo y con los operadores de los aeropuertos. Hoy en día es obligatorio para cualquier piloto poseer un curso en gestión de recursos de cabina que le brinden habilidades en temas de liderazgo, asertividad, resolución de conflictos, habilidades de comunicación, entre otras. Potencializando distintas habilidades para la coexistencia con los compañeros de trabajo y los clientes, se encontró la solución al problema de la década de los setenta⁴⁵.

Gráfica 3. Tasas de accidentes y cantidad de muertes a bordo de la flota mundial de aviones comerciales desde el año 1959 hasta 2016.



Fuente: Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959-2016. Disponible en: <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/s_tatsum.pdf>.

⁴³ Ibid. p. 86.

⁴⁴ Ibid. p. 82.

⁴⁵ Ibid. p. 82.

9.1 BUENAS PRÁCTICAS DE USO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN LA INSUTRIA DE LA AVIACIÓN

Como las innovaciones no terminaron en los años setenta, con el pasar del tiempo se siguieron adecuando elementos tecnológicos que facilitarían la operación de las aeronaves pero que aun así generaron una nueva problemática para la aviación. Aunque los avances tecnológicos fueron muy efectivos para la disminución de la cantidad de los accidentes en la década de los sesenta, en la década del 2000 surgió una situación donde la abundancia de herramientas para facilitar el trabajo de vuelo influyó negativamente en las habilidades de los pilotos al ponerlos fuera de ciclo, lo que provocó una reducción en la conciencia situacional⁴⁶, un exceso de confianza en el sistema automatizado y una pérdida de habilidades debido a la falta de práctica de vuelos en modo manual⁴⁷. Como resultado de esto, los pilotos perdieron capacidades para recuperar el control de la aeronave en situaciones críticas como lo es la pérdida de control del avión por una falla en los sistemas automatizados del mismo, o realizar una mala monitorización de los equipos en funcionamiento, lo que conlleva a evitar el cuestionamiento de los datos obtenidos por los distintos sensores o por los mismo presentados en las distintas pantallas de la cabina. Es entonces donde nace la filosofía de que el componente tecnológico y el factor humano se deben complementar para lograr una mayor seguridad del vuelo; así como la automatización fue concebida con el fin de reemplazar al piloto en ciertas tareas que le competían al factor humano, el piloto deberá encontrar los momentos apropiados para intervenir en la automatización⁴⁸.

Con el aumento de la seguridad de los aviones por la automatización de última tecnología con la que cuentan y la poca tasa de accidentalidad que se estaba presentando para la época, poco antes de cumplirse la primera década del 2000 los pilotos comenzaron a ser dependientes de los sistemas computarizados que operan un aproximadamente en su totalidad⁴⁹. Por este motivo, los tripulantes a

⁴⁶ SULLIVAN, Pat. Automatización Puede Hacer Que Pilotos Se Confíen. 2 de diciembre de 2013. Periódico el Universal. sec. Temas de interés. [sitio web]. [consultado 30, marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/mundo/automatizacion-puede-hacer-que-pilotos-se-confien-144088>.

⁴⁷ CHIALASTRI, Antonio. Automation. Chapter 5. Automation in aviation. 2012. Intech open. ISBN 978-953-51-0685-2 [sitio web]. [consultado 16, junio, 2017]. p. 81. Disponible en: http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf.

⁴⁸ SULLIVAN, Pat. Automatización Puede Hacer Que Pilotos Se Confíen. 2 de diciembre de 2013. Periódico el Universal. sec. Temas de interés. [sitio web]. [consultado 30, marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/mundo/automatizacion-puede-hacer-que-pilotos-se-confien-144088>.

⁴⁹ Ibid.

cargo de la manipulación de la aeronave al no practicar maniobras de vuelo manual perdieron habilidades que les permitían retomar el control del vuelo en caso de que se presentará algún caso adverso⁵⁰. En el paper "Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation" escrito por J.L. Thorogood, quien es miembro de comité del Programa de la Conferencia de Perforación SPE / IADC, cita un accidente que en el que le atribuyen en parte a la tripulación la culpa de la ocurrencia de la catástrofe debido a la pérdida de control de la aeronave en pleno vuelo. El accidente se refiere al reconocido caso del avión Airbus A330 operado por Air France, el cual en la madrugada del 1 de junio de 2009 se perdió en el Océano Atlántico mientras viajaba de Río de Janeiro a París. El análisis preliminar del accidente fue publicado por las autoridades francesas de investigación de accidentes aéreos (Bureau d'Enquetes et d'Analyse 2011); y este dictaminó que un posible fallo en los sensores de velocidad mostró datos erróneos y el sistema automatizado se desconectó. Luego de esto el avión comenzó a ascender por unos instantes antes de precipitarse a toda velocidad hacia el océano. Mientras el avión descendía, la tripulación no realizó ninguna maniobra para recuperar el control de la aeronave ya que no tenían conciencia de lo que estaba sucediendo⁵¹, y así en 4 minutos más de 228 personas perdieron la vida⁵².

Con el fin de dar solución a casos como el anteriormente presentado, la industria de la aviación optó por profundizar la práctica de las Reglas de Oro para Pilotos (Golden Rules for Pilots⁵³) creadas por la compañía Airbus S.A.S. y se definieron como los principios básicos de la aptitud básica para volar (EHEST 2015). Estas reglas consideran factores que con frecuencia son los causantes de los accidentes de los aviones como lo es el inadecuado conocimiento situacional/posicional, una no correcta interacción con la automatización y una excesiva dependencia en la misma, además de un control y apoyo mutuo ineficaces por parte de la tripulación.

⁵⁰ MORAN, Terry. Abc News. AIR FRANCE FLIGHT 447 CRASH 'DIDN'T HAVE TO HAPPEN', EXPERTS SAY.9 de Julio de 2012. [citado en 6 junio de 2017]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=ZFyrTUN5_as.

⁵¹ AFP. EL OBSERVADOR. SE CONOCIERON LAS CAUSAS DEL ACCIDENTE DEL VUELO RIO-PARIS DE AIR FRANCE. 13 de mayo de 2014. [citado en 30 marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.elobservador.com.uy/se-conocieron-las-causas-del-accidente-del-vuelo-rio-paris-air-france-n278447>>.

⁵² OWENS, David. GOLDEN RULES AIRBUS. 17 de FEBRERO de 2017. [citado en 10 junio de 2017]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=0uig5bEZues>>.

⁵³ OWENS, David. Golden Rules Airbus. 17 de FEBRERO de 2017. [sitio web]. [consultado 10, junio, 2017]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=0uig5bEZues>.

Cuadro 3. Reglas de oro de la aviación Airbus⁵⁴.

| | |
|--|--|
| <p>Regla 1: Una aeronave automatizada se puede pilotar como cualquier otra aeronave</p> | <p>Cada sujeto que se encuentre en la etapa de aprendizaje y entrenamiento debe emplear un simulador que le permita conocer la experiencia de pilotar un avión y que además le genere capacidades para dominar la operación del avión empelando un piloto automático básico, el cual solo se encargara de la parte de mantener la guiñada, el alabeo y el cabeceo. Luego, gradualmente el simulador incrementará la automatización del sistema para así potencializar el manejo de los modos superiores y el sistema de gestión de vuelo con el respectivo piloto automático. Una vez terminado tal proceso, el piloto en una práctica manual evidenciara su capacidad para mantener el control del vuelo ya sea optando por la opción de utilizar el piloto automático en su máxima expresión, y cuenta con las habilidades necesarias para regresar a la modalidad de pilotaje manual manteniendo un control sobre la trayectoria y configuración de potencia de la aeronave.</p> |
| <p>Regla 2: Pilotar, navegar, comunicar y gestionar (En ese orden).</p> | <p>Pilotar: el piloto debe estar completamente concentrado el pilotar la aeronave, es decir, debe estar siguiendo en todo momento la actitud y el ángulo de cabeceo, la velocidad aerodinámica, la potencia de los moteros, el alabeo, el rumbo, etc. Con esto, el piloto mantiene los objetivos establecidos, la trayectoria vertical y lateral deseada.</p> <p>Navegar: asegurarse de la selección de la automatización exigida para realizar la tarea de navegación, ya sea hacerla manualmente o interactuar correctamente con el sistema de manejo de vuelo y a su vez obtener la información requerida en la pantalla de navegación. Es importante que el piloto y su equipo de trabajo en cabina estén conscientes del terreno que les rodea y de la altitud mínima a la que es segura estar. La conciencia situacional es el eje principal para esta regla, es fundamental para la tripulación saber dónde está, saber dónde debería estar y saber en qué posición y en qué lugar se encuentran el terreno y los posibles obstáculos en frente.</p> <p>Comunicar: la comunicación efectiva permite compartir objetivos e intenciones y mejorará la conciencia situacional de la tripulación. Llevar a cabo una sesión informativa rigurosa con la tripulación antes de cualquier evento anormal que pueda surgir durante el vuelo. El uso de llamadas estándar del SOP (Procedimiento Operativo Estándar) es de vital importancia para así realizar un uso óptimo de la automatización, ya sea para conocimiento del equipo en tierra sobre los sistemas que están activados en la aeronave y si es necesario hacer ajustes para una óptima operación y hacer más seguro el vuelo. La comunicación del piloto con su copiloto debe ser clara y concisa, siempre tener los mismos objetivos en mente y siempre tener presente la respuesta de cómo está operando el equipo y como desean que opere. Además, la información de la situación debe estar en completo conocimiento por ambos tripulantes.</p> <p>Gestionar: La continuidad el vuelo se basa en gestionar la trayectoria, el recorrido del vuelo, los sistemas en funcionamiento, el gasto de combustible, los procedimientos de un vuelo normal, de un vuelo anormal, y de un vuelo cuando entra en estado de emergencia.</p> |

Cuadro 3 (Continuación).

| | |
|--|---|
| <p>Regla 3: Una cabeza arriba en todo momento</p> | <p>55En algunas ocasiones es posible que la operación de una aeronave tome bastante tiempo, como lo es vuelo que sale desde Doha (Qatar) hasta Auckland (Nueva Zelanda) (Martin⁵⁹). Las prácticas de vuelo seguro requieren de un seguimiento efectivo del control de la aeronave, de la navegación, de la comunicación y de la conciencia visual. Esto quiere decir que es necesaria una aplicación estricta por parte de la tripulación de mantener siempre la vista al frente y estar atento en todo momento. El diseño de cristal⁵⁶, que se refiere a que la cabina cuenta con pantallas de presentación en vez de los indicadores tradicionales que se manejaban años atrás. Este diseño apoya plenamente la estrategia de la secuencia anterior, es decir, cada paso cuenta con su propia unidad de visualización; para pilotar está el PFD, para navegar esta ND, para comunicar está el sistema COM/NAV (Comunicación/Navegación), y por último para gestionar está el sistema de alerta de tripulación (CAS) y el sistema de gestión de vuelo (FMS).</p> |
| <p>Regla 4: Comprobar la información de sistema de gestión de vuelo con los datos brutos.</p> | <p>El piloto debe comprobar en reiteradas ocasiones la información que le está suministrando el sistema de gestión de vuelo para tener la plena certeza de que el equipo no está presentando fallas, aunque el proceso no debe se debe realizar a toda hora, es recomendable realizarlos en reiteradas ocasiones.</p> |
| <p>Regla 5: Conocimiento de la dirección en todo momento</p> | <p>Las perillas y los botones en los distintos paneles del avión, son aquellos que le permiten a la tripulación comunicarse con el cuadro de control del piloto automático y el sistema de gestión de vuelo, es decir, con tales herramientas es posible establecer los objetivos de la operación, activar o desactivar comandos, cambios de plan de vuelo, etc. La pantalla principal de vuelo y la pantalla de navegación son las interfaces principales que usa la aeronave para comunicarse en todo momento con el piloto y el copiloto con el fin de confirmar que los sistemas del avión han aceptado correctamente las selecciones de comandos y de los objetivos que previamente ha introducido la tripulación. En cada momento del vuelo, el piloto debe ser consciente de que está activado en la aeronave, cuales son los objetivos que siguen los sistemas automatizados, y que respuesta está presentando el avión en términos de altitud, velocidad y trayectoria.</p> |

⁵⁹ LA VANGUARDIA. 17 horas y 30 minutos: el vuelo más largo del mundo ya es una realidad. 6 de febrero de 2017. Periódico la Vanguardia. sec. Economía. Aviación. [sitio web]. [consultado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/economia/20170206/414056580814/vuelo-largo-mundo-qatar-airways-doha-auckland.html>.

⁶⁰ MARTIN, Erica. Flight Department Administrator at Phoenix East Aviation What's a glass cockpit? 23 de abril de 2017. Phoenix east aviation. sec. Home Blog. [sitio web]. [consultado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <https://www.pea.com/blog/posts/whats-a-glass-cockpit/>.

Cuadro 3 (Continuación).

| | |
|---|--|
| <p>Regla 6: Cuando las cosas no van como estaba previsto, asuma el mando.</p> | <p>Si en algún momento de la operación del avión surge alguna duda sobre la trayectoria que se está trazando o si a velocidad que tiene el avión no es la adecuada, la tripulación de vuelo no deberá reprogramar los sistemas de la aeronave inmediatamente porque así perderá la concentración para pilotar y tomar el control total. Lo que se debe hacer inmediatamente es cambiar a modo manual el control del avión y junto a esto debe utilizar la información de los datos brutos de la navegación hasta que la situación sea adecuada para ingresar los respectivos comandos y programar nuevamente los sistemas automatizados. Si los sistemas no responden, desconéctelos todo de manera segura, asuma el mando y continúe el vuelo en modo manual hasta un llegar a una locación segura.</p> |
| <p>Regla 7: Utilice el nivel correcto de automatización</p> | <p>El nivel adecuado de automatización lo selecciona el tripulante al mando de la aeronave dependiendo de qué tan cómodo se sienta con la tarea y la situación actual, y para su elección el individuo se basará en su propio conocimiento y experiencia de la nave y de los sistemas automatizados. El piloto debe tener claro el balance que debe manejar entre confianza cero y confianza completa para con el sistema automatizado, está claro que aquellos que cuentan con confianza cero comprobaran todo lo que el sistema está haciendo e ilustrando en sus pantallas, lo que repercutiría en una sobrecarga de trabajo para el piloto, además de fatiga y estrés lo que disminuirá la seguridad del vuelo; mientras que aquel que cuenta con confianza completa con el sistema, no va a monitorizar adecuadamente la operación y el riesgo aumentara ya que no sabrá cómo se comporta la operación ni entenderá la situación actual del vuelo de tal manera que si surge algún problema será muy poco probable de que retome el control de la aeronave.</p> |
| <p>Regla 8: Practique compartir tareas y respaldarse entre sí con el resto de equipo de trabajo.</p> | <p>El entrenamiento de la tripulación debe incluir ejercicios de practica donde se evidencie la compartición de tareas de operación con un compañero de cabina, además es de vital importancia mantener en práctica este tipo de ejercicios ya sea en pleno vuelo o en simuladores para generar aún más habilidades. Los ejercicios deben comprender todas las situaciones posibles como lo son vuelo en condiciones normales, anormales y de emergencia. Es de vital importancia que los procedimientos de emergencia, situación anormal o normal, es decir, las listas de control se realicen entre los encargados del vuelo de manera sinérgica cuando se presente el momento.</p> |

Fuente: OWENS, David. Golden Rules Airbus. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=0uig5bEZues>.

Estas reglas ayudan a los pilotos a mantener su aptitud para volar mientras progresan hacia un modelo de mayor complejidad a medida que aumente la automatización y ayuda del mismo. Aunque se ha creado para los individuos que aún están en entrenamiento estas reglas también son una guía para aquellos pilotos experimentados. Así mismo, esta reglas pueden llegar a ser de gran ayuda para que los perforadores potencialicen sus habilidades tanto técnicas como sociales para mejorar su calidad de trabajo. Además, la operación de un taladro de última tecnología posee un nivel de automatización alto así como lo tienen los aviones comerciales, sin embargo, existen ciertas diferencias importantes.

10. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATÉGIA

Es importante que quede claro que la industria de la aviación y la industria petrolera son muy diferentes en varios aspectos. El cuadro 2 ilustra las diferencias claves entre la automatización en la industria de la aviación y la industria petrolera.

Cuadro 4. Diferencias claves entre la industria de la aviación y la industria petrolera⁵⁷.

| ÍTEM | DIFERENCIAS CLAVES | |
|---------------------------|--|---|
| | INDUSTRIA DE LA AVIACIÓN | INDUSTRIA PETROLERA |
| CONTROL DE PROCESO | Un avión está totalmente instrumentado, a nivel general posee una gran cantidad de herramientas que le permiten operar con gran precisión y el conjunto integrado de sistemas posee la capacidad de mantener el auto control. Las condiciones externas a la aeronave están monitoreadas y no existe la incertidumbre acerca del funcionamiento de la aeronave, el clima y el terreno que sobrevolara; es por eso que en todo momento esta estandarizado el procedimiento para llevar a cabo la operación de manera segura. | Los taladros de perforación de última tecnología, aunque poseen bastantes herramientas y sistemas automatizados, aun no poseen la autonomía total para mantener el control por sí solo. Existen muchas condiciones externas al funcionamiento del taladro y que aún es laboroso lidiar con ellas por la misma incertidumbre que se tiene de las mismas, por ejemplo, las condiciones de fondo de pozo no son siempre las mismas aun cuando se encuentren cercanos los pozos, y normal que parezcan sorpresa durante la operación. |

⁵⁷ THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation [sitio web]. SPE-151257-PA. [consultado 01, Noviembre, 2016]. Disponible en: <<https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>>

Cuadro 4 (continuación).

| | | |
|---|--|---|
| <p>INTEGRACIÓN DE SISTEMAS</p> | <p>En las aeronaves, todos los sistemas están totalmente integrados y actúan de manera conjunta para mantener la operación segura y eficiente.</p> | <p>En las locaciones de los taladros de perforación, es común encontrar operando más de una compañía. Esto dificulta los procedimientos a seguir ya que cada compañía puede tener uno propio que es diferente a las demás compañías presentes respecto a la gestión de situaciones o herramientas. La diversidad de grupos involucrados en la operación y su falta de integración crea problemas de responsabilidad cuando se presentan situaciones críticas.</p> |
| <p>INVOLUCRADOS EN LA TOMA DE DECISIONES</p> | <p>La responsabilidad de un proceso es compartida entre la tripulación encargada del vuelo y los controladores del tráfico aéreo.</p> | <p>En las operaciones de perforación, se encuentran muchas disciplinas diferentes entre sí (geólogo, ingeniero de yacimientos, ingeniero de petróleos, perforador, ingeniero direccional, ingeniero de lodos, entre otros), que se involucran en la operación y presentan una complejidad debido a los múltiples conceptos a la hora de toma de decisiones.</p> |

Fuente: Jon Thorogood. Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation. SPE-151257-PA

Aunque existan estas diferencias, John L. Thorogood indica en su paper "Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation" publicado en 2013⁵⁸ que el proceso de automatización de la perforación petrolera puede aprender de las lecciones que le han dejado a la industria de la aviación los diferentes accidentes donde se ve perjudicada la interacción entre la tripulación encargada del vuelo y la automatización de la aeronave.

El paper "Drilling Automation: Potential for Human Error ", publicado en 2013 por el departamento de perforación y completamiento de la Sociedad de Ingenieros de Petróleos (SPE); tiene como tema principal demostrar cómo responde el factor humano en un simulador que tiene como ambiente laboral un sistema con una alta automatización, y otro con una muy leve. El estudio se basó en poner a prueba un grupo de perforadores que interactuaron con un simulador que les

⁵⁸ THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation SPE-151257-PA. [sitio web]. [consultado, 1 de Noviembre, 2016]. Disponible en: <<https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>>

presentó varios escenarios. Dentro de la discusión de los datos obtenidos, es importante mencionar que los expertos consideran que, aunque los niveles más altos de automatización conducen al proceso a una mayor eficiencia, los sistemas automatizados complejos también causan un mayor riesgo de error del operador. Sin embargo, el estudio también mostró que aquellos perforadores que contaban con un mayor conocimiento técnico del simulador y una mayor experiencia, poseen una mayor confianza y un mayor rendimiento en sus resultados. Dentro de las conclusiones más importantes determinadas por los expertos que guiaron el estudio se resalta que la intervención de los sistemas de comunicación es vital para bajar la carga de trabajo del operador y así mismo su nivel de estrés.

Adicionalmente, al operador del taladro se le debe proporcionar la información suficiente que le informe qué sucede y por qué. Además, éste debe entender la situación claramente para que pueda manipular los sistemas automatizados y estos actúen de manera sinérgica con la situación; estas habilidades se adquieren con capacitación técnica y experiencia. Por último, un exceso de confianza en el sistema automatizado aumenta el riesgo de no darse cuenta de los comportamientos no deseados. Una vez más, la capacitación y la conciencia de la situación pueden ayudar a reducir este riesgo.

Comparando las conclusiones determinadas por el estudio de la SPE y las razones por las cuales la compañía Boeing publicó las reglas de oro, existe una similitud entre los problemas que hay por la interacción del equipo de trabajo y la automatización del equipo, ya sea taladro humano o avión humano. Con base en esto, la estrategia que se plantea es aplicar los principios básicos de automatización utilizados para la manipulación de aviones comerciales en la operación de taladros de perforación de última tecnología. En el cuadro 3, se identificaron los beneficios obtenidos en las operaciones de perforación al incorporar los principios de uso de automatización.

Cuadro 5 Beneficios obtenidos por la incorporación de los principios de uso de la automatización.

| Principios de uso de Automatización | ESTRATEGIA: beneficios obtenidos por la incorporación de los principios de uso de la automatización en operaciones de perforación. |
|--|---|
| Regla 1: Un taladro automatizado se puede manipular como cualquier otro taladro automatizado | Realizar un entrenamiento completo para los perforadores se basa no solo en el entendimiento y la comprensión de los mecanismos integrados en el taladro, sino de las situaciones extremas que pueden presentarse en cualquier momento y cómo se comportaran las herramientas bajo su cargo. Con esto, la respuesta del equipo de operación del taladro tendrá pleno conocimiento técnico para así hacer una correcta toma de decisiones para mantener el control de la operación para recuperar el mismo en un caso adverso. |

Cuadro 5 (continuación).

| | |
|---|---|
| <p>Regla 2: Manipular, navegar, comunicar y gestionar (En ese orden).</p> | <p>Manipular: Cuando el perforador mantiene concentración total en la operación que está realizando, mantendrá una supervisión completa sobre los sistemas del taladro como lo son la ROP el galonaje de circulación, el torque, el peso de la sarta de perforación, la RPM y la presión en los distintos puntos de seguridad. Independientemente de que el autodriller se encuentre en funcionamiento, el operador seguirá de cerca la operación y en determinados momentos deberá cuestionar la información registrada para determinar su veracidad. Esto aumentara la seguridad y la eficiencia de la operación tanto para el personal de trabajo como para la herramienta.</p> |
| | <p>Navegar: Esta tarea le corresponde al equipo de navegación que está pendiente de la información que se está ilustrando en las pantallas ya sea de la locación o del centro de operaciones en la ciudad. Dicha información representa las lecturas de los sensores de fondo de pozo como lo son los registros de resistividad y los registros de Gamma Ray. También se incluye en el equipo aquellos operadores que se encuentren en la locación y que están pendientes de observar y tomar muestras de los ripios que están emergiendo a superficie por el lodo de perforación. Es clave incluir al ingeniero direccional quien es el que está guiando la dirección la broca mediante las instrucciones dictadas por el equipo de geólogos y de ingenieros de yacimientos. Todo esto con el fin de conocer exactamente a qué profundidad se encuentra la broca y en qué dirección esta. Con el equipo integrado existirá menos ocurrencia de errores lo que disminuirá tiempos no productivos como los side-track.</p> |
| | <p>Comunicar: Una comunicación efectiva entre todo el equipo de trabajo permitirá una toma de decisiones adecuada para la situación que se está presentando. Es vital que todo el equipo entienda los objetivos planteados en un principio para así ubicar en qué punto del plan podrá intervenir y lograr hacerlo de una manera efectiva.</p> |
| | <p>Gestionar: La buena gestión del trabajo de los distintos equipos involucrados en la operación de perforación está basada en la guía prestada por parte del equipo de navegación, sumada a la buena operación del taladro lograda por las habilidades del perforador, del ingeniero direccional y de la cuadrilla que se encuentra en la locación. Adicional a eso, la toma de decisiones acertadas es sustancial sin importar si las situaciones que surjan son normales, anormales o de emergencia. Estos pilares trabajando integralmente beneficiaran la integridad del pozo permitiéndole estar en buenas condiciones para producción.</p> |
| <p>Regla 4: Comprobar la información de sistema de gestión de vuelo con los datos brutos.</p> | <p>Cuestionar la operación de los equipos aumenta la seguridad y la eficiencia de la operación. Es clave para evitar posibles eventos no deseados, desviaciones en el plan original y aumentos en tiempo de operación.</p> |

Cuadro 5 (continuación).

| | |
|--|---|
| <p>Regla 6: Cuando las cosas no van como estaba previsto, asuma el mando.</p> | <p>La perforación del subsuelo puede acarrear una gran cantidad de incertidumbres lo que conlleva que en cualquier momento de la operación puede surgir cualquier tipo de evento. Asumir el mando cuando falla algún equipo o sistema es una opción que permitirá ganar tiempo para mitigar las consecuencias generadas por el evento. Al ganar tiempo, el equipo tendrá un momento para replanteará el plan y diseñar una estrategia para retomar el control. El tiempo que transcurre mientras se recupera el control será quien determine si la estrategia es eficiente.</p> |
| <p>Regla 7: Utilice el nivel correcto de automatización.</p> | <p>Como no todos los pozos de perforación siguen el mismo plan, ni necesitan de los mismos equipos, la planeación es crucial para reducir los costos de operación. Aunque los taladros de última tecnología presenten un mejor desempeño que los convencionales, hay trabajos que tendrán los mismos resultados respecto a la calidad si se realiza con cualquiera de los dos tipos de taladro, lo que difiere en este caso es el dinero invertido.</p> |
| <p>Regla 8: Practique compartir tareas y respaldarse entre sí con el resto de equipo de trabajo.</p> | <p>Una vez comienzan las operaciones pertinentes a la perforación del pozo, estas mismas no paran en ningún momento a menos de que suceda un evento que pare la operación. Por tal motivo, es normal encontrar dentro del equipo de perforación dos o más profesionales dependiendo del cargo, para así trabajar continuamente día y noche. De esta manera se alivia la carga de trabajo y le permite mayor lucidez a cada operario en su turno.</p> |

Fuente: Autor.

11. Evaluación económica de la estrategia planteada.

Como se mencionó anteriormente, la emergencia en la industria de la aviación que se generó en la década del 2000 por la abundancia de herramientas que facilitaban el trabajo de vuelo y que a su vez influyó negativamente en las habilidades de los pilotos en casos de emergencia (Martina Palma⁵⁹); tuvo como respuesta por parte de los pilotos el apropiamiento de la filosofía de que el factor tecnológico y el factor humano se deben complementar entre sí para lograr una mayor seguridad del vuelo. Observando la tabla 5, se evidencia que hubo un aumento en el porcentaje del error humano como causa de accidentes fatales comparando las últimas dos décadas registradas.

Tabla 5. Registro de la cantidad de accidentes ocasionados por distintas causas en el periodo 1950-2010.

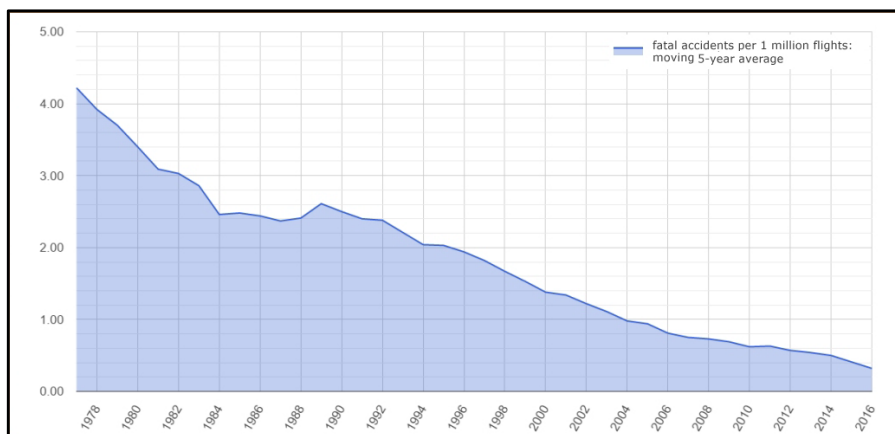
| Cause | 1950s | 1960s | 1970s | 1980s | 1990s | 2000s | All |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Total Pilot Error | 58 | 63 | 44 | 57 | 55 | 57 | 53 |
| Pilot Error | 42 | 36 | 25 | 29 | 29 | 34 | 32 |
| Pilot Error (weather related) | 10 | 18 | 14 | 16 | 21 | 18 | 16 |
| Pilot Error (mechanical related) | 6 | 9 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 |
| Other Human Error | 3 | 8 | 9 | 5 | 8 | 6 | 6 |
| Weather | 16 | 9 | 14 | 14 | 8 | 6 | 12 |
| Mechanical Failure | 21 | 19 | 20 | 21 | 18 | 22 | 20 |
| Sabotage | 3 | 5 | 11 | 12 | 10 | 9 | 8 |
| Other Cause | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Fuente: Navarra. Cinco datos curiosos de los accidentes aéreos. Marzo 2015. Disponible en: <http://www.navarraconfidencial.com/2015/03/25/cinco-datos-curiosos-sobre-los-accidentes-aereos/>

Así mismo, ya con el nuevo pensamiento los accidentes provocados por errores humanos comenzaron a reducirse a finales de la primera década del nuevo milenio tal como se ve en la gráfica 4. Esta gráfica fue publicada en 2017 por la Red de Seguridad de la Aviación (Aviation Safety Network) y representa la curva de declinación de la cantidad de accidentes de aviones con pasajeros que han sucedido desde el año 1976.

⁵⁹ MARTIN PALMA, José Raúl. EFECTO DE UNA ALTA AUTOMATIZACION EN CABINA. 2 de mayo de 2015. [citado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <<http://avionypiloto.es/secciones/instrumentos/efecto-de-una-alta-automatizacion-en-cabina/>>.

Gráfica 4. Curva de accidentes de avión por cada millón de vuelos.



Fuente: Aviation Safety. Statics. Disponible en: <https://aviation-safety.net/graphics/infographics/Fatal-Accidents-Per-Mln-Flights-1977-2016.jpg>

Con base en lo anteriormente dicho, los datos del periodo 2008-2016 fueron escogidos para determinar el porcentaje de disminución de la cantidad de accidentes que ocurrieron para cada año registrado. De igual manera, dichos porcentajes, que están contenidos en la tabla 6, se determinaron el fin de crear los distintos escenarios de la simulación para la evaluación financiera de la estrategia propuesta.

Tabla 6. Número de accidentes por cada millón de vuelos desde 2008.

| AÑO | NUMERO ACCIDENTES/MILLON DE VUELOS | REDUCCIÓN RESPECTO AL AÑO 2008 |
|------|------------------------------------|--------------------------------|
| 2008 | 0,75 | - |
| 2010 | 0,62 | 17,33% |
| 2012 | 0,58 | 22,67% |
| 2014 | 0,5 | 33,33% |
| 2016 | 0,35 | 53,33% |

Fuente: Autor.

La simulación tiene como propósito demostrar en qué medida los costos generados por los NPT's operacionales se reducen una vez se proceda con la implementación de la estrategia planteada. Se tomó el año 2008 como punto de partida de la reducción de accidentes aéreos a causa de la implementación de la nueva filosofía. Del mismo modo, se optó por tomar los datos de los NPT's registrados en el año 2015 para realizar la simulación y así mismo tomarlos como punto de partida de la implementación de la estrategia, es decir, se asume que la estrategia planteada hará efecto en los costos hasta el año 2017, tal como sucede con la reducción de los accidentes, que como se observa en la tabla 6, se da una disminución hasta el año 2010.

Al igual que la tabla 6, donde los años que registraron la cantidad de accidentes se encuentran listados de dos en dos, los años considerados para la simulación fueron el 2017, 2019, 2021 y 2023. Cada año representa tres porcentajes tal y como se evidencia en la tabla 7. Esto sucede porque se considera 3 escenarios diferentes para cada año y en los cuales se puede encontrar el efecto generado por la implementación de la estrategia. La determinación de los porcentajes se hizo tomando como escenario más optimista un porcentaje máximo de reducción igual al registrado en la tabla 7, es decir, para el año 2017 el porcentaje máximo de disminución de costos generados por NPT's operacionales será del 17% y el mínimo será de 11,1%. Lo mismo sucede para el escenario moderado y pesimista, donde su porcentaje máximo será de 11% y 6% respectivamente; y el mínimo será 6,1% y 0,1% respectivamente también. De igual manera se interpreta para los años siguientes.

Tabla 7. Porcentajes de reducción de NPT's operacionales estimados para cada año y cada escenario de la simulación.

| | ESCENARIO | | |
|-------------|-----------|----------|-----------|
| | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
| 2017 | 6% | 11% | 17% |
| 2019 | 19% | 21% | 23% |
| 2021 | 27% | 30% | 33% |
| 2023 | 39% | 45% | 53% |

Fuente: Autor.

Con el fin de simplificar la cantidad de datos para la simulación, en la tabla 8 están contenidos los valores que promedian cada uno de los datos contenidos en la tabla 2.

Tabla 8. Valores promedio de las horas NPT registradas en los primeros 4 meses del año 2015.

| ÍTEM | PROMEDIO |
|---|----------------------|
| Pozos en Operación | 24 |
| Operación Total (Hrs) | 13.066 |
| Hrs/Pozo | 550 |
| Días/Pozo | 23 |
| Valor Pozo/Día (USD) | 62.329,00 |
| Valor Hora operacional (USD) | 2.597,04 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.428.755,64 |
| NPT Operacionales (Hrs) | 2.313,25 |
| Valor NPT Operacional (USD) | 6.007.606,64 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 33.932.946,42 |

Fuente: Autor.

En la tabla 9, aparece la cantidad de horas que se le redujeron al NPT operacional promediado en la tabla 8 en cada uno de los escenarios y para cada año. Igualmente, se calculó el costo de las horas reducidas para cada cantidad de NPT operacional disminuido.

Tabla 9. Cantidad y valor de NPT operacional disminuido para el periodo 2017-2023.

| ESCENARIO | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 2017 | | | |
| % de reducción NPT Operacional | 6% | 11% | 17% |
| Cantidad NPT Operacional reducido (Hrs) | 130 | 259 | 393 |
| Valor NPT Operacional reducido (USD) | 336.426 | 672.852 | 1.021.293 |
| 2019 | | | |
| % de reducción NPT Operacional | 19% | 21% | 23% |
| Cantidad NPT Operacional reducido (Hrs) | 440 | 486 | 532 |
| Valor NPT Operacional reducido (USD) | 1.141.445 | 1.261.597 | 1.381.750 |
| 2021 | | | |
| % de reducción NPT Operacional | 27% | 30% | 33% |
| Cantidad NPT Operacional reducido (Hrs) | 625 | 694 | 763 |
| Valor NPT Operacional reducido (USD) | 1.622.054 | 1.802.282 | 1.982.510 |
| 2023 | | | |
| % de reducción NPT Operacional | 39% | 45% | 53% |
| Cantidad NPT Operacional reducido (Hrs) | 902 | 1041 | 1226 |
| Valor NPT Operacional reducido (USD) | 2.342.967 | 2.703.423 | 3.184.032 |

Fuente: Autor.

En las tablas 10, 11, 12 y 13 están planteadas las simulaciones de los nuevos costos totales de una campaña mensual para los años 2017, 2019, 2021 y 2023 respectivamente. En las tablas, están determinados los nuevos valores de las horas de operación total; las horas, los días y el valor total que un pozo; la cantidad de horas y el costo del NPT operacional y por último el valor total de la campaña mensual. El nuevo valor de las horas totales de operación y de las horas NPT operacional, se obtuvo reduciendo la cantidad de horas presentadas en la tabla 9 a la cantidad de horas presentadas en la tabla 8. De ahí en adelante, la determinación de los valores de los demás ítems se hace de la misma manera que en la tabla 4.

Tabla 10. Simulación de reducción de NPT's para el año 2017.

| 2017 | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 6% | 11% | 17% |
| Pozos en Operación | 24 | 24 | 24 |
| Operación Total (Hrs) | 12.936 | 12.807 | 12.673 |
| Promedio Hrs/Pozo | 539 | 534 | 528 |
| Promedio Días/Pozo | 22 | 22 | 22 |
| Promedio valor Pozo/Día (USD) | 62.329,00 | 62.329,00 | 62.329,00 |
| Valor Hora Operacional (USD) | 2.597 | 2.597 | 2.597 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.399.855,02 | 1.385.837,27 | 1.371.318,89 |
| NPT Operacionales (Has) | 2.183,71 | 2.054,17 | 1.920,00 |
| Valor NPT Operacional (USD) | 5.671.180,66 | 5.334.754,69 | 4.986.313,51 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 33.596.520 | 33.260.094 | 32.911.653 |

Fuente: Autor.

Tabla 11. Simulación de reducción de NPT's para el año 2019.

| 2019 | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 19% | 21% | 23% |
| Pozos en Operación | 24 | 24 | 24 |
| Operación Total (Hrs) | 12.626 | 12.580 | 12.534 |
| Promedio Hrs/Pozo | 526 | 524 | 522 |
| Promedio Días/Pozo | 22 | 22 | 22 |
| Promedio valor Pozo/Día (USD) | 62.329,00 | 62.329,00 | 62.329,00 |
| Valor Hora Operacional (USD) | 2.597 | 2.597 | 2.597 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.366.312,55 | 1.361.306,21 | 1.356.299,87 |
| NPT Operacionales (Hrs) | 1.873,73 | 1.827,47 | 1.781,20 |
| Valor NPT Operacional (USD) | 4.866.161,37 | 4.746.009,24 | 4.625.857,11 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 32.791.501 | 32.671.349 | 32.551.197 |

Fuente: Autor.

Tabla 12. Simulación de reducción de NPT's para el año 2021.

| 2021 | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 27% | 30% | 33% |
| Pozos en Operación | 24 | 24 | 24 |
| Operación Total (Hrs) | 12.441 | 12.372 | 12.303 |
| Promedio Hrs/Pozo | 518 | 516 | 513 |
| Promedio Días/Pozo | 22 | 21 | 21 |
| Promedio valor Pozo/Día (USD) | 62.329,00 | 62.329,00 | 62.329,00 |
| Valor Hora Operacional (USD) | 2.597 | 2.597 | 2.597 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.346.287,19 | 1.338.777,68 | 1.331.268,18 |
| NPT Operacionales (Hrs) | 1.688,67 | 1.619,28 | 1.549,88 |
| Valor NPT Operacional (USD) | 4.385.552,84 | 4.205.324,64 | 4.025.096,45 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 32.310.893 | 32.130.664 | 31.950.436 |

Fuente: Autor.

Tabla 13. Simulación de reducción de NPT's para el año 2023.

| 2023 | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 39% | 45% | 53% |
| Pozos en Operación | 24 | 24 | 24 |
| Operación Total (Hrs) | 12.164 | 12.025 | 11.840 |
| Promedio Hrs/Pozo | 507 | 501 | 493 |
| Promedio Días/Pozo | 21 | 21 | 21 |
| Promedio valor Pozo/Día (USD) | 62.329,00 | 62.329,00 | 62.329,00 |
| Valor Hora Operacional (USD) | 2.597 | 2.597 | 2.597 |
| Valor Total por Pozo (USD) | 1.316.249,16 | 1.301.230,14 | 1.281.204,79 |
| NPT Operacionales (Hrs) | 1.411,08 | 1.272,29 | 1.087,23 |
| Valor NPT Operacional (USD) | 3.664.640,05 | 3.304.183,65 | 2.823.575,12 |
| Valor Total Campaña de Mes (USD) | 31.589.980 | 31.229.523 | 30.748.915 |

Fuente: Autor.

Para finalizar, la tabla 13 contiene la cantidad de dinero que se dejó de emplear para cubrir los gastos generados por los NPT's operacionales. Adicional a esto, se encuentra el valor ahorrado con respecto al valor total de un pozo una vez implementada la estrategia. Analizando el año 2017, al comparar el valor total de un pozo en el año 2015 (1'428.755,64 USD) y el del presente año (1'399.855,02 USD), se ve que la diferencia alcanzaría un ahorro de dinero por un total de 28.900,62 USD, y así sucesivamente para cada escenario y cada año.

Tabla 14. Valor de disminución del costo promedio de pozo y del costo generado por NPT operacional para el periodo 2017-2023.

| ESCENARIO | PESIMISTA | MODERADO | OPTIMISTA |
|--------------------------|------------|------------|--------------|
| 2015 | | | |
| Valor Total pozo (USD) | | | 1.428.755,64 |
| Disminución (USD) | | | |
| 2017 | | | |
| Valor Pozo (USD) | 28.900,62 | 42.918,37 | 57.436,75 |
| 2019 | | | |
| Valor Pozo (USD) | 62.443,09 | -67.449,43 | 72.455,77 |
| 2021 | | | |
| Valor Pozo (USD) | 82.468,45 | 89.977,95 | 97.487,46 |
| 2023 | | | |
| Valor Pozo (USD) | 112.506,48 | 127.525,50 | 147.550,85 |

Fuente: Autor.

12. CONCLUSIONES

- Desde que la automatización llegó a la industria de la perforación, se ha evidenciado que los sistemas utilizados son más seguros y más eficientes, sin embargo, su evolución ha sido más veloz que la evolución de la parte humana para tener el control total y utilizar eficientemente dichos sistemas.
- La abundancia de herramientas de alta tecnología que le ayudan a la parte humana en las operaciones, ha generado un problema serio que consiste en el exceso de confianza en dichas herramientas. Es por eso que la parte humana ha perdido habilidades cruciales que le permiten retomar el control de la situación una vez que la automatización falla o no tiene contemplado dentro de su programación que ocurra tal evento.
- La parte humana nunca podrá ser removida de los procesos automatizados en su totalidad, ya que la maquina no tiene el sentido de supervivencia arraigado en su programación, es decir, solo la mente humana posee la capacidad de generar ideas bajo presión para hacer uso de sus habilidades adquiridas por la experiencia y de esta manera evitar o minimizar el impacto de situaciones catastróficas.
- Para un efectivo funcionamiento de la automatización, es importante que el operador esté consiente y esté plenamente informado de la situación actual, además, de estar plenamente seguro de como el sistema actuará en todo momento, es decir, el operador siempre va dos instrucciones adelante antes de que le sistema las ejecute las mismas por sí solo.
- El trabajo en equipo tiene como finalidad repartir la carga trabajo de un fin específico, por eso es importante que el ambiente laboral no este tenso para que de esta manera los sentimientos de los trabajadores no sean negativos, ya que de esta manera es muy posible que los resultados terminen siendo negativos también.
- La experiencia adquirida por trabajar con máquinas convencionales no es suficiente para adquirir las habilidades suficientes que se requieren para manipular de forma correcta una máquina que cumple la misma función pero que es automatizada y a su vez tiene sistemas diferentes y de mayor complejidad. Es por eso que la capacitación técnica que reciban los operadores sobre las maquinas automatizadas es crucial a la hora de efectuar un trabajo, ya que le permite interactuar de una manera segura y eficiente con la máquina al tener siempre conciencia de la acciones realizadas por el equipo.

- Desde el punto de vista financiero, se resalta que aun cuando si se presenta el escenario pesimista, por ejemplo para el año 2017, la reducción en los costos puede llegar a ser de 336.000 USD, y esta cifra en moneda nacional tiene el valor de 974'400.000 de pesos, capital que podría ser invertido en nuevos proyectos tanto de producción como de exploración; y más hoy en día que las reserva del país no tiene una cifra muy positiva para el futuro.
- Los tiempos no productivos afectan enormemente las operaciones de perforación, no solo por su durabilidad sino por su costo. Por eso es necesario hacer un replanteamiento en la planeación de las operaciones y hacer un seguimiento exhaustivo que le permita a la compañía generar estrategias que permitan la disminución de este factor. Además de que estos tiempos retrasan el desarrollo de nuevos proyectos, una compañía pierde aproximadamente 4 días por cada pozo que tenga en operación. Desde lo financiero, la compañía pierde alrededor de 60.000 USD por cada día que se considere no productivo, y que multiplicado por 4, serian 240.000 USD.

13.RECOMENDACIONES

La crisis petrolera de los últimos años es un punto clave y primordial en la economía del país. Con el precio del crudo bajo y el alto costo del dólar, se ha generado una alza de los precios, créditos caros y desempleo; debido a la disminución de entrada de divisas a causa de la exportación de petróleo.

Para quien desee continuar este trabajo o darle una profundización, se brindan las siguientes recomendaciones:

- Aliarse con una compañía petrolera que brinde la información completa sobre los campos petroleros donde trabaja para hacer las estimaciones más exactas.
- Apoyarse es un experto de la industria de la aviación para poder comprender a fondo la estrategia utilizada por tal industria para reducir la cantidad de accidentes aéreos que se presentan año tras año.

Apoyarse es un experto en taladros de perforación de última tecnología para comprender en su totalidad las funciones técnicas del taladro y así evaluar nuevamente cómo y en qué medida las lecciones aprendidas por la industria de la aviación reducirían los errores humanos y los accidentes dentro de la industria petrolera.

BIBLIOGRAFIA

BUREAU VERITAS ARGENTINA. Se puede reducir el tiempo no productivo (NPT) de tu pozo?. [Sitio web]. Argentina. [Consultado 1, noviembre, 2016].

Disponible en: http://www.bureauveritas.com.ar/home/news/did-you-know-that/sq-reducir-tiempo-no-productivo?presentationtemplate=bv_master_v2/news_full_story_presentation_did_you_know_v2

THOROGOOD, John; ALDRED, Walt; FLORENCE, Fred; IVERSEN, Fionn. PAPER SPE: Drilling Automation: Technologies, Terminology and Parallels With Other Industries. SPE-119884-MS. [Sitio web]. United Satates. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-119884-MS?id=conference-paper%2FSPE-119884-MS>

IVERSEN, Fionn; GRESSGARD, Leif Jarle; THOROGOOD ,John L.; KARIMI BALOV, Mohsen; HEPSØ, Vidar. PAPER SPE: Drilling Automation: Potential for Human Error. SPE-151474-MS. [sitio web]. United Satates. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-151474-MS?id=conference-paper%2FSPE-151474-MS>.

THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons From Aviation SPE-151257-PA. [Sitio web]. United Satates. [Consultado 1, noviembre, 2016]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>

PDVSA. El taladro de perforación [sitio web]. Venezuela. sec. Somos PDVSA [consultado en 01 Noviembre de 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/245834411/Taladro-de-Perforacion>.

SCHLUMBERGER, IMP. Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores: los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. [Sitio web]. México. [Consultado 1, Noviembre, 2016]. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscincosistemasdelequipo.pdf>

LEMANSISTEM. El pozo ilustrado. Perforación [sitio web]. ed. 1. México. Capítulo 3. p. 98. [Consultado, 1, Noviembre, 2016]. Disponible en: https://alemansistem.files.wordpress.com/2012/05/cap_03.pdf

DATALOG. Manual De Perforación. Procedimientos y operaciones en el pozo. . [Sitio web]. Datalog, 3030 9th St SE, Calgary, Alberta, Canadá T2G 3B9. Traducido al Español V.1.0 Julio 2002 [consultado 13, abril, 2017]. p. 4. Disponible en: <https://www.u->

cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Manual_de_Perforacion_Procedimientos_y_Operaciones_en_el_Pozo.pdf

WILD WELL CONTROL. Equipamiento. Wild well documents. [Sitio web]. [Consultado 4, marzo, 2017]. p. 141. Disponible en: <http://wildwell.com/literature-on-demand/literature/pressure-control-equipment-esp.pdf>

Schlumberger. Los cinco sistemas básicos del equipo de perforación. Programa de entrenamiento acelerado para supervisores. Presentación Schlumberger, documents. [Sitio web]. [Consultado 10 de marzo de 2017]. p. 4. Disponible en: <http://equipment911.com/downloads/loscinco sistemas de equipo.pdf>

ALVARADO Fernando; GALLARDO Mariano; ILLANES Tobías; ZAMORANO Osvaldo; LEGAZ Daniel. Presentación de alumnos del instituto superior n° 1810 "escuela de petróleo de la Patagonia": evolución cronológica y comparación de equipos torres de perforación [sitio web]. 17-18 de agosto de 2011 Comodoro Rivarria, Chubut. [Consultado 01, junio, 2017]. Instituto argentino del petróleo y gas. Disponible en: <http://www.iapg.org.ar/seccionalsur/Diferencias.pdf>.

HUISMAN. CHALLENGES IN OFFSHORE AUTOMATION. Marine & offshore automation. RDM Campus Rotterman. [Sitio web]. 29 de octubre de 2013. [Consultado 18, julio, 2017]. p. 6. Disponible en: http://geologie.vsb.cz/DRILLING/drilling/articles/5-brochure_loc_400_vf.pdf.

HARMER, Richard. Schlumberger UK. A new real time intelligence service that enables operators to mitigate risks and optimise performance. [Sitio web]. Febrero de 2015. [Consultado 18, julio, 2017]. Schlumberger file, documents, industry articles. p. 3. Disponible en: http://www.slb.com/~media/Files/drilling/industry_articles/201502_oilfield_technology_optidrill.pdf

SILVA MONROY, Oswaldo. Ingeniero de petróleos. Frontera Energy. Coordinador de departamento de perforación en Casanare Colombia. Entrevista Costos operativos de los taladros convencionales y de los taladros de última generación. Bogotá. 10 de Diciembre de 2016.

SILVA BUSTOS, Oscar R, Ingeniero de petróleos. Líder de perforación, Ecopetrol. Entrevista causas e impactos de los tiempos no productivos en las operaciones. Bogotá, 22 de Marzo de 2016.

HARMER, Richard. Schlumberger UK. A new real time intelligence service that enables operators to mitigate risks and optimise performance. [Sitio web]. Febrero de 2015. [Consultado 18, julio, 2017]. Schlumberger file, documents, industry articles. p. 3. Disponible en:

http://www.slb.com/~media/Files/drilling/industry_articles/201502_oilfield_technology_optidrill.pdf

HSIEH, Linda. RIG NPT: THE UGLY TRUTH. Drilling rigs & automation, features. . [sitio web]. Septiembre/Octubre de 2010. [Consultado 12, febrero, 2017]. Disponible en:< <http://www.drillingcontractor.org/rig-npt-the-ugly-truth-6795>.

JAMES, Keith. WHAT IS THE SAFEST WAY TO TRAVEL – BY PLANE, CAR, TRAIN...SPACE SHUTTLE? [En línea]. 15 de Febrero de 2013. . [sitio web]. [Consultado 12, junio, 2017]. Disponible en:< <http://961theeagle.com/what-is-the-safest-way-to-travel-by-plane-car-train-space-shuttle/>>.

NAFRIA, Ismael. MAS DE 3.000 MILLONES DE PASAJEROS VIAJAN CADA AÑO EN AVION. [En línea]. 2 de marzo de 2015. . [Sitio web]. [Consultado 16, junio, 2017]. Disponible en:< <http://www.lavanguardia.com/vangdata/20150402/54429403942/mas-de-3-000-millones-de-pasajeros-viajan-cada-ano-en-avion.html>>.

SEGURA, Enrique; CHOCONTA, Igor. Seguridad Aérea E Influencia Del Factor Humano En El Mantenimiento E Inspección De Aeronaves En Colombia. Ingeniería aeronáutica. Universidad de San Buen Aventura. [Sitio web]. p. 14. [Consultado 5, mayo, 2017]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/42891.pdf>

GOMEZ, Roberto Julio. LA AUTOMATIZACION. 11 de febrero de 2015. Sitio web especializado en temas aeronáuticos. Argentina. [Consultado 16, junio, 2017]. Disponible en: <http://www.flap152.com/2015/02/la-automatizacion.html>.

THOROGOOD, John. PAPER SPE: Automation in Drilling: Future Evolution and Lessons from Aviation [sitio web]. SPE-151257-PA. [Consultado 01, mayo, 2017]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-151257-PA?id=journal-paper%2FSPE-151257-PA>

¹ CHIALASTRI, Antonio. AUTOMATION IN AVIATION. 2012. [sitio web]. [Consultado 16, junio, 2017]. p. 83. Disponible en: Http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf.

BOEING. STATISTICAL SUMMARY OF COMMERCIAL JET AIRPLANE ACCIDENTS. Worldwide Operations 1959-2016. Julio 2017. [Sitio web]. [Consultado 16, agosto, 2017]. p. 16. Disponible en: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf

CHIALASTRI, Antonio. Automation. Chapter 5. Automation in aviation. 2012. Intech open. ISBN 978-953-51-0685-2 [sitio web]. [Consultado 16, junio, 2017]. p.

81. Disponible en: http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf.

SULLIVAN, Pat. Automatización Puede Hacer Que Pilotos Se Confíen. 2 de diciembre de 2013. Periódico el Universal. sec. Temas de interés. [Sitio web]. [Consultado 30, marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/mundo/automatizacion-puede-hacer-que-pilotos-se-confien-144088>.

CHIALASTRI, Antonio. Automation. Chapter 5. Automation in aviation. 2012. Intech open. ISBN 978-953-51-0685-2 [sitio web]. [Consultado 16, junio, 2017]. p. 81. Disponible en: http://cdn.intechopen.com/pdfs/37990/intech-automation_in_aviation.pdf.

SULLIVAN, Pat. Automatización Puede Hacer Que Pilotos Se Confíen. 2 de diciembre de 2013. Periódico el Universal. sec. Temas de interés. [Sitio web]. [Consultado 30, marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/mundo/automatizacion-puede-hacer-que-pilotos-se-confien-144088>.

MORAN, Terry. Abc News. AIR FRANCE FLIGHT 447 CRASH 'DIDN'T HAVE TO HAPPEN', EXPERTS SAY.9 de Julio de 2012. [Citado en 6 junio de 2017]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=ZFyrTUN5_as.

AFP. EL OBSERVADOR. SE CONOCIERON LAS CAUSAS DEL ACCIDENTE DEL VUELO RIO-PARIS DE AIR FRANCE. 13 de mayo de 2014. [Citado en 30 marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.elobservador.com.uy/se-conocieron-las-causas-del-accidente-del-vuelo-rio-paris-air-france-n278447>>.

OWENS, David. GOLDEN RULES AIRBUS. 17 de FEBRERO de 2017. [Citado en 10 junio de 2017]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=0uig5bEZues>.

LA VANGUARDIA. 17 horas y 30 minutos: el vuelo más largo del mundo ya es una realidad. 6 de febrero de 2017. Periódico la Vanguardia. sec. Economía. Aviación. [Sitio web]. [consultado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/economia/20170206/414056580814/vuelo-largo-mundo-qatar-airways-doha-auckland.html>.

MARTIN, Erica. Flight Department Administrator at Phoenix East Aviation What's a glass cockpit? 23 de abril de 2017. Phoenix east aviation. sec. Home Blog. [Sitio web]. [Consultado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <https://www.pea.com/blog/posts/whats-a-glass-cockpit/>.

MARTIN PALMA, José Raúl. EFECTO DE UNA ALTA AUTOMATIZACION EN CABINA. 2 de mayo de 2015. [Citado en 30 julio de 2017]. Disponible en: <<http://avionpiloto.es/secciones/instrumentos/efecto-de-una-alta-automatizacion-en-cabina/>>.