



FACULTAD DE POSGRADOS

PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO  
DE MANTENIMIENTO DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN PARA  
REDUCIR LOS TIEMPOS NO PRODUCTIVOS

AUTOR

ESTEBAN SANTIAGO FIERRO RAMOS

AÑO

2019



FACULTAD DE POSGRADOS

PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE  
MANTENIMIENTO DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN PARA REDUCIR  
LOS TIEMPOS NO PRODUCTIVOS

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
título de Magister en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial

Profesor Guía

MSc. Mauricio Hernán Rojas Dávalos

Autor

Esteban Santiago Fierro Ramos

Año

2019

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo “Planificación e Implementación de Mejoras en el Proceso de Mantenimiento de un Taladro de Perforación para Reducir los Tiempos no Productivos” a través de reuniones periódicas con el estudiante Esteban Santiago Fierro Ramos en el semestre 201900, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Mauricio Hernán Rojas Dávalos

MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

C.I.: 1708880495

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo “Planificación e Implementación de Mejoras en el Proceso de Mantenimiento de un Taladro de Perforación para Reducir los Tiempos no Productivos”, de Esteban Santiago Fierro Ramos, en el semestre 201900, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Javier Alejandro Sosa Zambrano

MAGISTER EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y SEGURIDAD  
INDUSTRIAL

C.I.:1714137898

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Esteban Santiago Fierro Ramos

C.I.:0401168315

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, a mi esposa, a mi hijo, a mis padres y hermanos, por estar siempre a mi lado apoyándome para cumplir esta meta en mi vida.

A mis compañeros y amigos de trabajo Marcelo y Andrea por su soporte y consejos para ser un mejor profesional y amigo.

A mi tutor Mauricio R., por dirigir mi trabajo de titulación, y aportar sus conocimientos y experiencia durante la ejecución de este trabajo.

## RESUMEN

Dentro de la industria petrolera, existe el servicio de renta de taladros de perforación, los cuales tienen los equipos necesarios para realizar la construcción de un nuevo pozo de petróleo. Los equipos de un taladro de perforación son susceptibles a fallas que generan tiempo y dinero perdido para la empresa y el cliente durante la prestación del servicio.

En este proyecto se levantó las estadísticas de todas las fallas de los equipos de un taladro de perforación de una empresa que brinda el servicio de renta de taladros durante el año 2017.

De esta manera se plantearon e implementaron diferentes mejoras en el proceso de mantenimiento de un taladro de perforación, con el fin de incrementar el control y la responsabilidad en la gestión de mantenimiento. Las mejoras realizadas en el proceso de mantenimiento se enfocan en el círculo de mejora continua de Deming y en la aplicación de herramientas de la calidad y mantenimiento disponibles.

Luego de plantear e implementar las mejoras en el proceso de mantenimiento, se tomaron todas las estadísticas de las fallas de los equipos durante el año 2018 para determinar si hubo un impacto positivo en el tiempo y dinero perdido por dichas fallas.

Finalmente se mostrarán las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos luego de implementar las mejoras en el proceso de mantenimiento.

## **ABSTRACT**

In the petroleum industry, there is the service of rent drilling rigs. These drilling rigs have the necessary equipment to build a new oil production well. All drilling rigs equipment are susceptible to failure generating waste of time and money not only for the drilling contractor, but also for the client.

In this project, all the statistics of failures from the equipment of one drilling rig of one company which rent rigs were taken during 2017.

Because of this, some improvements for the maintenance process of one drilling rig were made and implemented, in order to increase the control and the responsibility about the maintenance management. All the improvements made in the maintenance process were focused in the continuous improvement circle of Deming and they were applied under available quality and maintenance tools.

After all the improvements in the maintenance process have been set up, all the statistics of failures from the equipment of one drilling rig of one company which rent rigs were taken during 2018 in order to determine if there was a positive impact in the time and money lost due to failures.

Finally, the conclusions and recommendations obtained after implementing all the improvements in the maintenance process will be shown.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Tema .....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Formulación del Problema .....	1
1.4. Objetivos del Estudio.....	1
1.4.1. Objetivo General .....	2
1.4.2. Objetivos Específicos .....	2
1.5. Antecedentes .....	2
1.6. Marco Teórico .....	3
1.6.1. Sistemas y Equipos de un taladro de perforación .....	3
1.6.1.1. Sistema de potencia .....	3
1.6.1.2. Sistema de Izamiento .....	6
1.6.1.3. Sistema de rotación.....	11
1.6.1.4. Sistema de Circulación.....	13
1.6.1.5. Sistema de Control de Pozos .....	16
1.6.2. Importancia de la Calidad en el Servicio de Perforación. ....	20
1.6.3. Herramientas Estadísticas.....	21
1.6.4. Herramientas de Calidad.....	22
1.6.4.1. Diagrama de causa y efecto .....	22
1.6.4.2. Diagrama de Pareto .....	23
1.6.4.3. Hoja de recogida de datos.....	23
1.6.4.4. Brainstorming .....	24
1.6.5. Herramientas de Mantenimiento .....	24

1.6.5.1.	Manuales del fabricante.	24
1.6.5.2.	Estándares internacionales	24
1.6.5.3.	Aplicación y Optimización del Mantenimiento	25
1.7.	Sistema Informático de Mantenimiento (SIMEF)	25
1.8.	Justificación del Tema	25
1.9.	Aspectos Metodológicos	26
2.	<b>OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS</b>	27
2.1.	Obtención de Datos	27
2.1.1.	Número	27
2.1.2.	Pozo	28
2.1.3.	Fecha y hora de inicio del NPT	28
2.1.4.	Fecha y hora de finalización del NPT	28
2.1.5.	Tiempo no productivo (NPT)	28
2.1.6.	Pérdida de dinero (LM)	29
2.1.7.	Sistema	29
2.1.8.	Equipo	30
2.1.9.	Descripción de Operaciones	30
2.1.10.	Causa principal	31
2.1.11.	Observaciones	31
2.1.12.	Tabla de registro de NPTs	31
2.2.	<b>Análisis de Datos Previo a Mejoras en el Proceso de Mantenimiento</b>	32
2.2.1.	Análisis estadístico del año 2017.	32
2.2.2.	Número de eventos con NPT y pérdida de dinero en los Sistemas y equipos del año 2017.	33

3.	PLANES DE MEJORA E IMPLEMENTACIÓN .....	37
3.1.	Proceso de Mantenimiento Previo a Mejoras.....	38
3.1.1.	Eje de planificación y ejecución.....	38
3.1.1.1.	Planificación. ....	38
3.1.1.2.	Certificación de Equipos.....	38
3.1.1.3.	Inspecciones rutinarias.....	39
3.1.1.4.	Mantenimientos Correctivos .....	39
3.1.1.5.	Control.....	39
3.1.2.	Eje de Responsabilidades .....	40
3.1.2.1.	Ingeniería de Mantenimiento .....	40
3.1.2.2.	Gerencia de Campo .....	40
3.1.2.3.	Terceras compañías.....	41
3.1.2.4.	Staff de campo .....	41
3.1.2.5.	Cuadrilla de mantenimiento de campo .....	41
3.2.	Mejoras Propuestas Para el Proceso de Mantenimiento...	41
3.2.1.	Mejoras en planificación.....	41
3.2.2.	Capacitación.....	43
3.2.3.	Mejoras en Certificación de Equipos. ....	44
3.2.4.	Mejoras en inspecciones rutinarias. ....	44
3.2.5.	Mantenimientos de los equipos .....	44
3.2.6.	Control de los mantenimientos .....	45
3.3.	Proceso Luego de las Mejoras.....	46
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	48
4.1.	Comparación de Resultados Estadísticos Entre el Año 2017 y 2018 .....	48

4.1.1.	Resultados estadísticos obtenidos en el 2018. ....	48
4.1.2.	Comparación de resultados estadísticos entre el año 2017 y 2018. ....	48
4.2.	Comparación de los Resultados de Número de Eventos con NPTs y Pérdida de Dinero por Sistemas y Equipos Entre el Año 2017 y 2018 .....	50
4.2.1.	Número de eventos con NPT y pérdida de dinero en los Sistemas y equipos del año 2018. ....	50
4.2.2.	Comparación de resultados de número de eventos y dinero perdido entre el año 2017 y 2018. ....	52
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1.	Conclusiones.....	58
5.2.	Recomendaciones .....	59
	REFERENCIAS .....	60
	ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grupos electrógenos de un taladro de perforación. ....	4
Figura 2. Casa SCR de un taladro de perforación.....	5
Figura 3. Motores eléctricos DC de un taladro de perforación .....	5
Figura 4. Mástil de un taladro de perforación .....	6
Figura 5. Subestructura de un taladro de perforación .....	7
Figura 6. Malacate de un taladro de perforación .....	7
Figura 7. Bloque Corona de un taladro de perforación.....	8
Figura 8. Bloque viajero, gancho y TDS de un taladro de perforación .....	8
Figura 9. Ancla de la línea muerta del cable de perforación .....	9
Figura 10. Recorrido del cable de perforación en el sistema de izamiento. ....	9
Figura 11. Guinche neumático de 5 ton .....	10
Figura 12. Guinches hidráulicos para levantar el BOP.....	10
Figura 13. Top Drive System.....	11
Figura 14. Mesa rotaria de un taladro de perforación.....	12
Figura 15. Tubería de perforación montada en la torre .....	12
Figura 16. Tanques de lodo de un taladro de perforación.....	13
Figura 17. Bombas de lodo de un taladro de perforación.....	14
Figura 18. Distribución de líneas y manifold de alta presión .....	14
Figura 19. Stand pipe y manifold del stand pipe de un taladro de perforación. ....	15
Figura 20. Manguerote. ....	15
Figura 21. Línea de retorno de lodo. ....	16
Figura 22. Conjunto de preventor de reventones – BOP.....	17
Figura 23. Válvulas de la línea de choke.....	18
Figura 24. Válvulas de la línea de matado .....	18
Figura 25. Manifold de choke .....	19
Figura 26. Unidad de control del BOP.....	19
Figura 27. Círculos de Control.....	20
Figura 28. Diagrama de Ishikawa.....	22
Figura 29. Diagrama de Pareto. ....	23

Figura 30. Gráfica de número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2017. ....	35
Figura 31. Gráfica de Dinero perdido por NPTs por Sistema del Taladro de Perforación en el año 2017 .....	36
Figura 32. Proceso de mantenimiento previo mejoras. ....	42
Figura 33. Proceso de Mantenimiento luego de las mejoras.....	47
Figura 34. Gráfica de número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2018. ....	51
Figura 35. Gráfica de Dinero perdido por NPTs por Sistema del Taladro de Perforación en el año 2018. ....	52
Figura 36. <i>Gráfica de comparación de número de eventos con NPTs en los sistemas entre el año 2017 y 2018.....</i>	<i>54</i>
Figura 37. <i>Gráfica de comparación de dinero perdido por eventos con NPTs en los sistemas entre el año 2017 y 2018. ....</i>	<i>56</i>
Figura 38. Gráfica de comparación de dinero perdido en el Sistema de Circulación entre el año 2017 y 2018. ....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Registro de NPTs</i> .....	31
Tabla 2. Medidas de tendencia central y dispersión de los datos del año 2017. ....	32
Tabla 3. Número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2017. ....	33
Tabla 4. Pérdida de dinero por NPTs por Sistema y Equipo del Taladro de Perforación en el año 2017. ....	34
Tabla 5. Esquema de la matriz de mantenimiento. ....	43
Tabla 6. Tabla de frecuencia y responsables de reportes.....	45
Tabla 7. Control de registro de certificaciones. ....	46
Tabla 8. Medidas de tendencia central y dispersión de los datos del año 2018. ....	48
Tabla 9. Comparación de los resultados estadísticos de los tiempos de NPTs del año 2017 y año 2018.....	49
Tabla 10. Comparación de los resultados estadísticos del dinero perdido por NPTs del año 2017 y año 2018.....	49
Tabla 11. Número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2018. ....	50
Tabla 12. Pérdida de dinero por NPTs por Sistema y Equipo del Taladro de Perforación en el año 2018. ....	51
Tabla 13. Comparación de número de eventos de NPT en los sistemas entre el año 2017 y 2018.....	53
Tabla 14. Comparación de dinero perdido por eventos de NPT en los sistemas entre el año 2017 y 2018.....	54
Tabla 15. Comparación de dinero perdido en el Sistema de Circulación entre el año 2017 y 2018.....	55

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Tema**

Planificación e Implementación de Mejoras en el Proceso de Mantenimiento de un Taladro de Perforación para Reducir los Tiempos No Productivos.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

Un proceso de mantenimiento sin un control adecuado incrementa la falla de los equipos generando tiempos no productivos por los mantenimientos correctivos necesarios para reestablecer la operatividad de estos. Por otro lado, el no realizar un correcto análisis de las causas raíz que ocasionan las fallas genera que no se establezcan las acciones que prevengan la recurrencia de estas. Finalmente, la pérdida de tiempo por fallas inesperadas de los equipos de un taladro de perforación afecta a la calidad del servicio, ya que se incrementa el tiempo y el costo de las operaciones para la empresa que brinda el servicio y para el cliente.

### **1.3. Formulación del Problema**

- ¿Cómo afectan los tiempos no productivos en la calidad del servicio de perforación de pozos de petróleo?
- ¿Cómo influye el Proceso de Mantenimiento en el incremento de tiempos no productivos durante el servicio?
- ¿Qué tan importante es realizar un correcto análisis de causas raíz de las fallas, para reducir los tiempos no productivos durante el servicio de perforación?

### **1.4. Objetivos del Estudio**

### **1.4.1. Objetivo General**

Planificar e implementar mejoras en el proceso de mantenimiento de un taladro de perforación para reducir los tiempos no productivos durante la prestación del servicio.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar los datos obtenidos durante eventos que generan tiempos no productivos y su influencia en la calidad del servicio de renta de taladros para perforación de pozos de petróleo.
- Establecer las mejoras en el proceso de mantenimiento de los equipos de un taladro de perforación para reducir las fallas inesperadas de los equipos.
- Implementar un procedimiento de análisis de causas raíz para evitar la recurrencia de fallas en los equipos.

## **1.5. Antecedentes**

La industria del petróleo, una de las más fuertes en el Ecuador y el mundo, tuvo una fuerte caída a finales del año 2014, generando una reducción de las inversiones de todos los sectores. Probablemente el sector más afectado fue la exploración y explotación de petróleo, ya que el Ecuador pasó de tener alrededor de 43 taladros de perforación operando en el año 2013 a apenas 8 taladros de perforación en el año 2016 (Araujo, 2016, El Comercio).

La empresa cuenta con 14 taladros de perforación disponibles para el servicio de renta siendo el mayor exponente de taladros en el país. Sus servicios se han extendido desde operaciones de exploración sísmica a servicios integrados

de perforación. A raíz de la crisis petrolera, se plantea realizar un análisis y planes de optimización de los costos operativos dentro de la empresa.

Con el incremento paulatino del precio del barril de petróleo desde el año 2017 a la actualidad, el Gobierno Ecuatoriano está buscando nuevas fuentes de inversión en el sector de exploración y extracción del petróleo, y los objetivos son incrementar la producción actual de 600.000 barriles de petróleo a 1'000.000 de barriles a finales del año 2019.

Con un panorama optimista para incrementar las operaciones de perforación en el país, es muy importante que se garantice la calidad en el servicio de renta de taladros de perforación de pozos con el fin de ser más competitivos y atractivos para los clientes.

## **1.6. Marco Teórico**

### **1.6.1. Sistemas y Equipos de un taladro de perforación**

Un taladro de perforación tiene como función principal construir el pozo con la ayuda de personal calificado y máquinas de alto rendimiento que deberán funcionar correctamente para garantizar un buen desempeño en las operaciones.

El taladro de perforación se encuentra dividido por sistemas que cumplen una determinada función dentro de la construcción del pozo y a su vez estos sistemas están conformados por equipos.

Los principales sistemas de un taladro de perforación son:

#### **1.6.1.1. Sistema de potencia**

El sistema de potencia es el que genera la energía necesaria para que todos los equipos de los taladros de perforación funcionen adecuadamente. En la

actualidad la mayoría de estos taladros son eléctricos, es decir que su principal fuente de energía proviene de la generación eléctrica. Es por esta razón que el sistema de potencia consiste en los siguientes equipos (Bommer, 2008, cap. 9):

- Grupos electrógenos. Son grandes motores a diésel que alimentan a generadores eléctricos de corriente alterna (AC). En un taladro de 2000 HP es común encontrar cuatro grupos electrógenos de 1200 KW tal como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1.* Grupos electrógenos de un taladro de perforación.

- Casa de transmisión de potencia eléctrica (SCR). Es el equipo encargado de recibir el voltaje y la corriente generada en los grupos electrógenos, para rectificar y distribuir el voltaje y corriente necesaria para hacer funcionar a todos los motores y equipos eléctricos del taladro. En la Figura 2 se observa una casa SCR de un taladro de perforación.



*Figura 2. Casa SCR de un taladro de perforación*

- Motores eléctricos (DC). Son grandes motores que hacen funcionar a los equipos principales del taladro, estos motores son accionados con la energía rectificada del SCR.

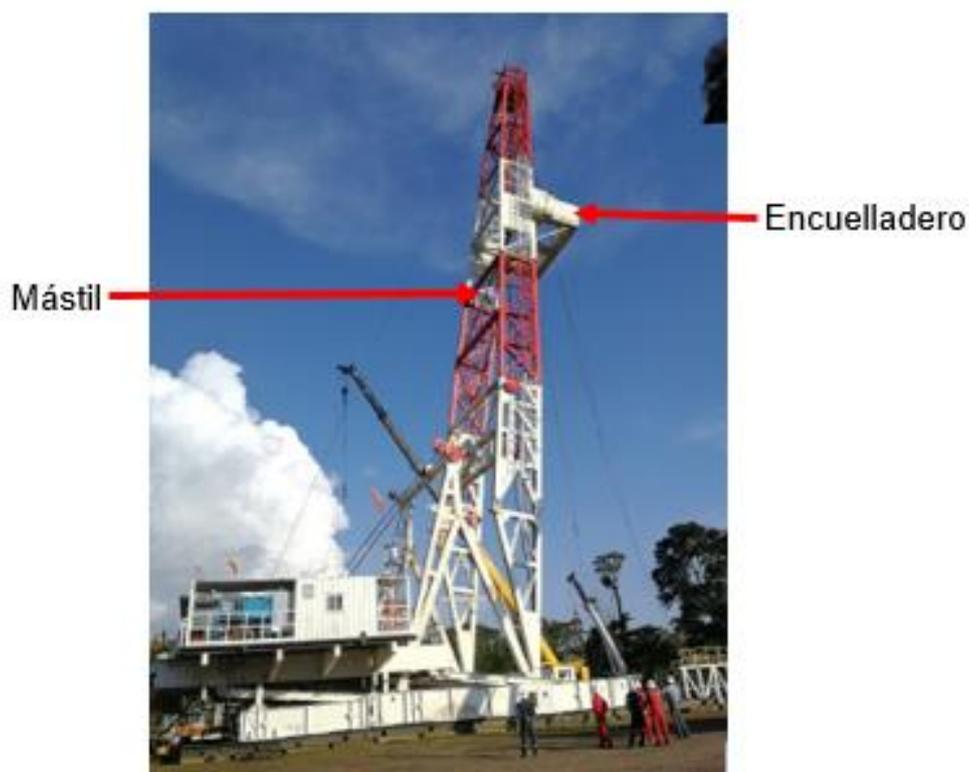


*Figura 3. Motores eléctricos DC de un taladro de perforación*

### 1.6.1.2. Sistema de Izamiento

Los taladros de perforación tienen un sistema de izamiento, que cumple con la función de levantar y bajar la tubería y herramientas necesarias que se van a utilizar para construir el pozo de petróleo. El sistema de izamiento está conformado por los siguientes equipos (Bommer, 2008, cap. 9):

- **Mástil.** Es la estructura principal que soporta todo el peso del bloque corona, bloque viajero, top drive, tubería de perforación y el resto de las herramientas que ingresan en el pozo para su construcción. En el mástil se ensambla el encuelladero que es el lugar en donde se arman y almacenan las paradas (3 tubos) de la tubería de perforación tal como se observa en la Figura 4 y Figura 15.



*Figura 4.* Mástil de un taladro de perforación

- **Subestructura.** Es la estructura que soporta el peso de todos los equipos y herramientas que se asientan en el piso de perforación como son:

malacate, casas de perro, cabina del perforador, mesa rotaria, tubería de perforación, etc. Como se observa en la Figura 5.



Figura 5. Subestructura de un taladro de perforación

- Malacate. Este es el equipo que, con ayuda de un juego de poleas en el bloque corona y bloque viajero, levanta todo el peso que se encuentre conectado al gancho como es el del TDS, tubería de perforación y el resto de las herramientas que entran en el pozo para su construcción. Para lograr esto el malacate cuenta un carrito giratorio, accionado por dos grandes motores eléctricos, en donde se enrolla y desenrolla la línea viva del cable de perforación para levantar o bajar el bloque viajero. En la Figura 6 se puede observar este equipo.



Figura 6. Malacate de un taladro de perforación

- Bloque Corona. Es el juego de poleas (6 poleas + 1 polea rápida) que se encuentran ancladas en la parte superior del mástil y con su par que es el bloque viajero ayudan a reducir la fuerza que debe aplicar el malacate para levantar el peso del TDS, tubería de perforación y resto de herramientas que ingresan o salen del pozo. Este equipo se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Bloque Corona de un taladro de perforación

- Bloque viajero. Es el juego de poleas (6 poleas) que, con el accionamiento del malacate, se desplazan a lo largo de la torre para subir y bajar el gancho que se conecta al TDS y este a su vez a la tubería de perforación y resto de herramientas, como se observa en la Figura 8.

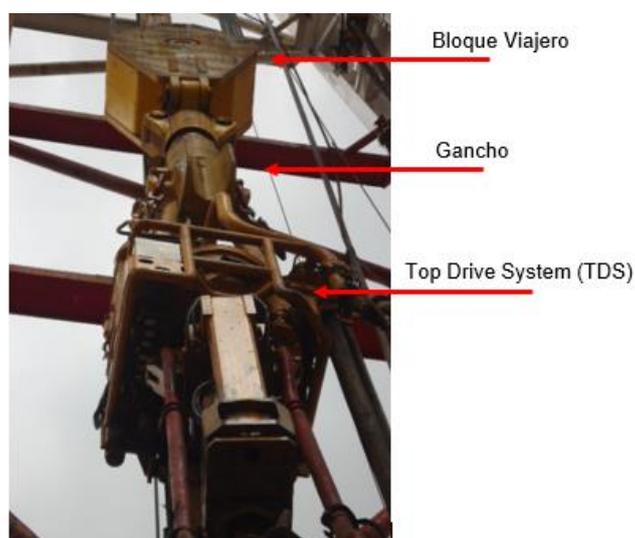


Figura 8. Bloque viajero, gancho y TDS de un taladro de perforación

- Gancho. Como se observa en la Figura 8, es la herramienta que conecta el bloque viajero en su parte superior con el TDS en su parte inferior. Existen algunos modelos de TDS que se ensamblan directamente con el bloque viajero sin usar el gancho.
- Ancla de la línea muerta. Este es el lugar en donde se ancla la línea muerta del cable de perforación. El cable de perforación debe estar bien tensionado y anclado para evitar el deslizamiento de este por las poleas, ocasionando accidentes importantes por la caída de estos equipos.



Figura 9. Ancla de la línea muerta del cable de perforación

- Cable de perforación. Es el cable de 2 7/8 in de diámetro que se enrolla en el carrito del malacate (línea viva) y se desliza por las poleas fijas de la corona y las poleas móviles del bloque viajero para anclarse en el ancla de la línea muerta y llegar hasta el carrito de cable nuevo, el recorrido del cable de perforación se lo puede observar en la Figura 10.

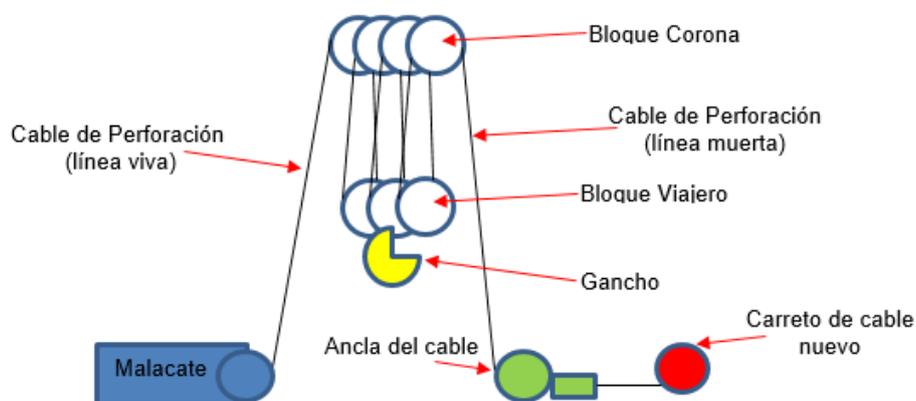


Figura 10. Recorrido del cable de perforación en el sistema de izamiento.

- Guinches de aire. En el piso de perforación se encuentran dos guinches neumáticos de cinco toneladas que sirven para ayudar a levantar y bajar tubería y herramientas del piso de perforación. También existe un guinche de aire pequeño de una tonelada que sirve para subir y bajar personas que van a realizar trabajos en alturas.



*Figura 11.* Guinche neumático de 5 ton

- Guinche para levantar el BOP. Es un par de guinches accionados hidráulicamente que se mueven sobre rieles anclados a la subestructura de perforación y sirven para levantar y posicionar el BOP sobre el pozo que se está perforando.



*Figura 12.* Guinches hidráulicos para levantar el BOP

### 1.6.1.3. Sistema de rotación

Los equipos del sistema de rotación son los que generan y transmiten el torque de rotación a la tubería de perforación llegando a la broca que rota y muele la tierra para así construir el pozo. Actualmente el sistema de torque que más se usa en los taladros de perforación es el que cuenta con el Top Drive System (TDS). Es de esta manera que el sistema de rotación está conformado por los siguientes equipos (Bommer, 2008, cap. 9):

- Top Drive System (TDS). Este equipo dispone de uno o dos motores eléctricos o hidráulicos que transmiten su potencia a un eje central que hace rotar a toda la tubería de perforación que se encuentra dentro del pozo.

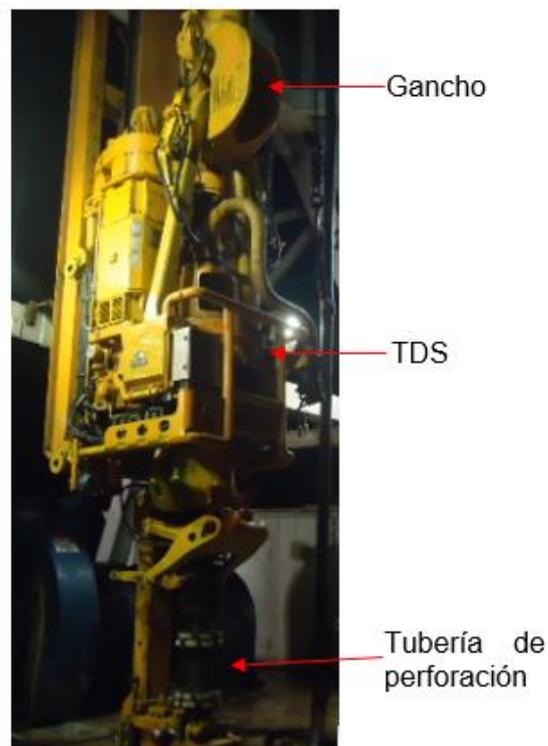


Figura 13. Top Drive System

- Mesa rotaria. Actualmente este equipo se lo usa para suspender por medio de una cuña la tubería de perforación mientras se ingresa o se

saca del pozo. Antes de usar el TDS, la mesa rotaria era el equipo encargado de transmitir el torque a la tubería de perforación por medio de un sistema conocido como kelly - swivel.



Tubería de perforación

Mesa Rotaria

Cuña

*Figura 14.* Mesa rotaria de un taladro de perforación

- Sarta de perforación. Es el conjunto de tubería hueca y herramientas que se arman para construir y dar la profundidad requerida del pozo, transportar el lodo de perforación hasta el fondo para la limpieza del pozo y transmitir el torque generado en el TDS a la broca. Dentro de los principales componentes de la sarta de perforación se encuentran: tubería de perforación (DP), tubería de perforación extrapesada (HWDP), collares de perforación (DC) y substitutos (X-overs, pup joints, lifting subs, etc.). En la Figura 15 se observa tubería de perforación armada en la torre.



Tubería de perforación

*Figura 15.* Tubería de perforación montada en la torre

#### 1.6.1.4. Sistema de Circulación

El sistema de circulación se encarga de bombear el lodo de perforación con la presión suficiente para pasar por las tuberías, válvulas, mangueras de alta presión, el TDS, la tubería de perforación, herramientas y broca; limpiar el fondo del pozo y retornar a la superficie con los ripios de perforación generados por la limpieza del pozo que se está construyendo. (Bommer, 2008, cap. 9)

Los equipos del sistema de circulación son:

- Tanques de lodo. Este es el lugar en donde se almacena, prepara y acondiciona el lodo de perforación, dándole las propiedades adecuadas para realizar la correcta limpieza del pozo. En los tanques de lodo existen varios equipos que sirven para preparar y acondicionar el lodo de perforación como son: zarandas, desgasificador mecánico, limpiador de lodo, tolvas para dosificar químicos, agitadores para mezclar y bombas centrífugas para recircular el lodo dentro de los tanques.



Figura 16. Tanques de lodo de un taladro de perforación.

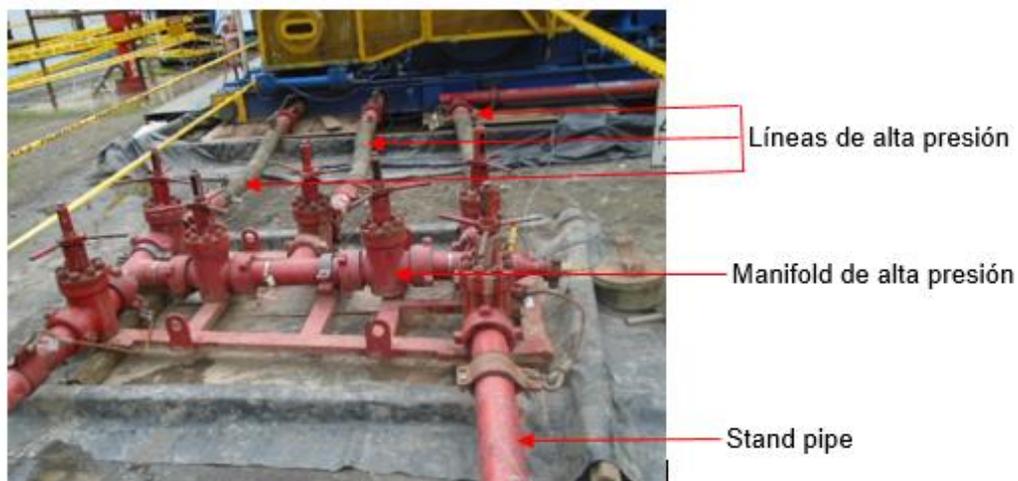
- Bombas de lodo. El lodo es succionado desde los tanques de lodo para que las bombas incrementen el caudal y la presión del fluido con el fin de vencer las pérdidas de presión de todo el sistema, limpiar el fondo del pozo y retornar hasta las zarandas con los ripios generados. En el taladro de perforación hay tres bombas de 1600 HP que se conectan en

paralelo para incrementar el flujo del lodo. La potencia de estas bombas es obtenida de dos motores eléctricos DC vistos en el punto 1.6.1.1.



*Figura 17.* Bombas de lodo de un taladro de perforación.

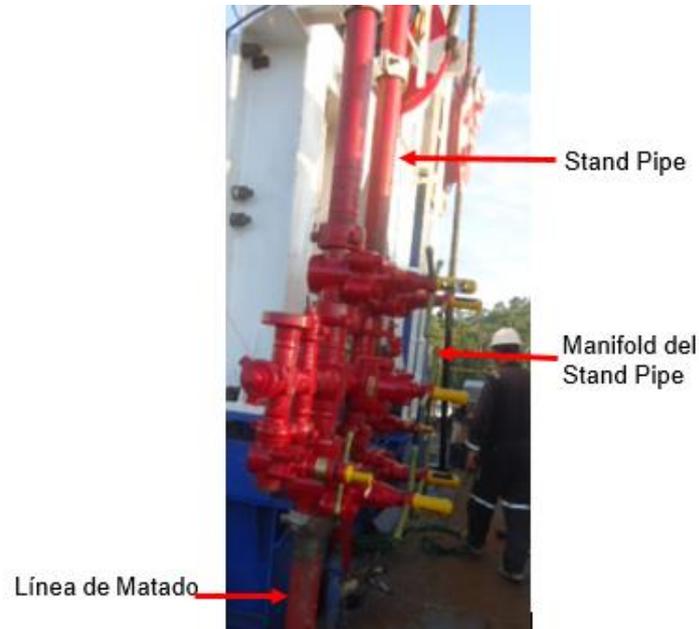
- Líneas y manifold de alta presión. Son tuberías que transportan el lodo de perforación desde las bombas hasta un conjunto de válvulas (manifold) que se encarga de direccionar todo el lodo a una sola línea de alta presión llamada stand pipe.



*Figura 18.* Distribución de líneas y manifold de alta presión

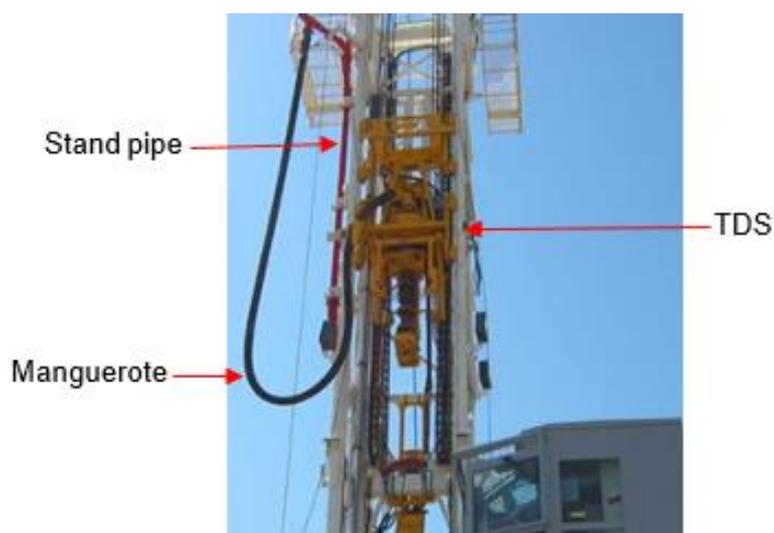
- Stand pipe y manifold de stand pipe. Es la tubería de alta presión que sale del manifold de las bombas, sube por la subestructura, pasa por un juego de válvulas (manifold de stand pipe), sube por la estructura y se

conecta con el manguerote. El manifold del stand pipe se encarga de direccionar el lodo de perforación hacia el pozo ya sea por la tubería de perforación o por la línea de matado para controlar el pozo en caso de un reventón.



*Figura 19.* Stand pipe y manifold del stand pipe de un taladro de perforación.

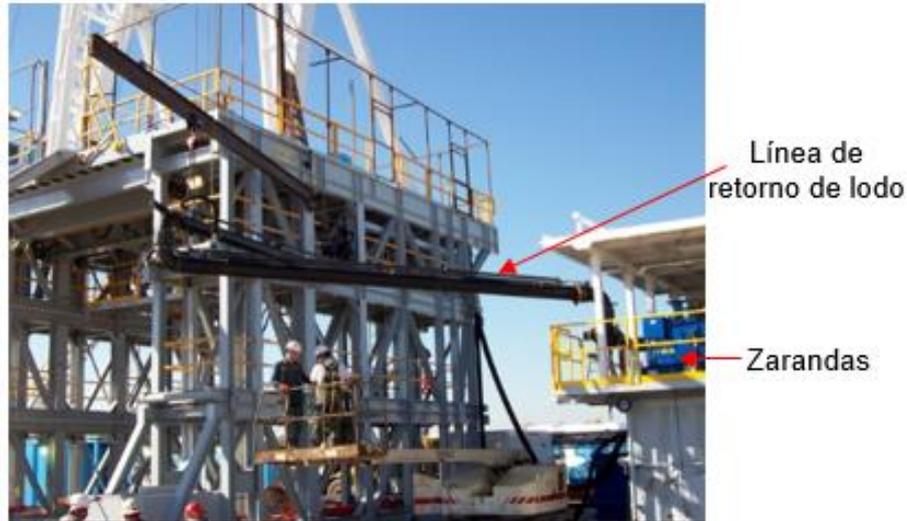
- Manguerote. Es una manguera de alta presión que se usa para permitir el desplazamiento vertical del top drive mientras se inyecta fluido al pozo.



*Figura 20.* Manguerote.

Adaptado de: rotarydrillinghose, 2018

- Línea de retorno de lodo. Es la línea que evacúa y transporta el lodo de perforación con ripios que salen del pozo hasta las zarandas que son los equipos encargados de separar el lodo de perforación de los ripios generados por la limpieza del pozo.



*Figura 21.* Línea de retorno de lodo.

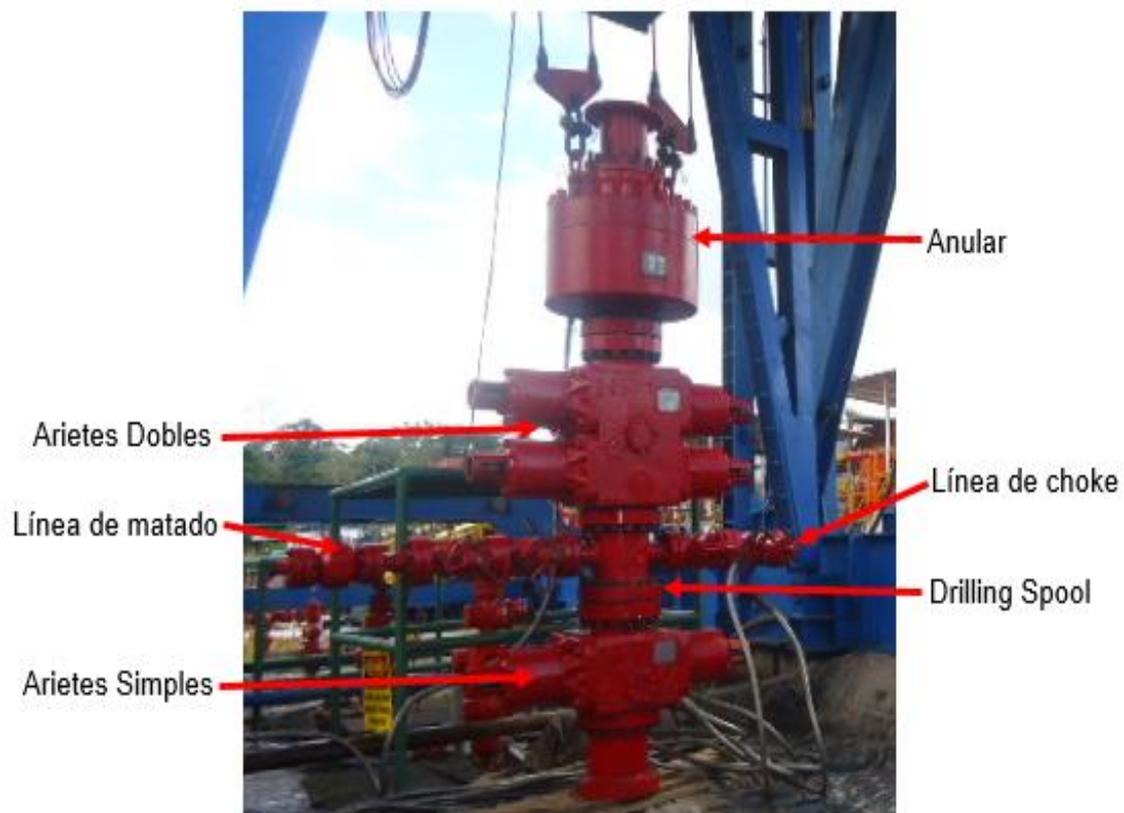
Adaptado de: katmachine, 2011

#### 1.6.1.5. Sistema de Control de Pozos

El sistema de control de pozos es el conjunto de equipos que controlan los fluidos a alta presión que pueden salir súbitamente del pozo en caso de un reventón. Un reventón de pozo es el peor escenario, ya que una variedad de fluidos sale a la superficie sin control. Dentro de estos fluidos pueden encontrarse: lodo de perforación, gases tóxicos, gases inflamables y crudo, lo cual puede ser letal para las personas y causar grandes daños en los equipos. Es por esta razón que los equipos del sistema de control de pozos son muy importantes y deben estar siempre en buen estado. Los equipos del sistema de control de pozos son: (Bommer, 2008, cap. 13)

- Preventor de reventones (BOP). Es un conjunto de válvulas de alto rendimiento que se conectan en la boca del pozo y sirven para cerrar el pozo en caso de un reventón. Estas válvulas deben ser probadas

máximo cada 21 días para garantizar su óptimo funcionamiento en caso de un evento. El preventor de reventones está formado por: preventor anular que es un elastómero que cierra el espacio anular sin importar si hay o no tubería. Los arietes dobles y simples tienen gavetas de tubería para hacer sello del pozo en tubería de diferentes tamaños y gavetas ciegas para cerrar el pozo cuando está abierto sin tubería. Finalmente, el drilling spool es el elemento que tiene dos líneas para direccionar el fluido que sale o ingresa al pozo en caso de un reventón: la línea de choke evacúa los fluidos a alta presión que salen del pozo y la línea de matado bombea lodo de perforación al pozo.



*Figura 22.* Conjunto de preventor de reventones – BOP

- Válvulas de la línea de choke. Es el arreglo de una válvula manual y una válvula hidráulica, conectada a un costado del BOP en el drilling spool para permitir la salida de fluidos del pozo hacia el choke manifold tal como se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Válvulas de la línea de choke

- Válvulas de la línea de matado. Es el arreglo de una o dos válvulas manuales y una válvula check que permite el ingreso de fluidos bombeados directamente al pozo mediante el manifold del stand pipe visto en el punto 1.6.1.4.

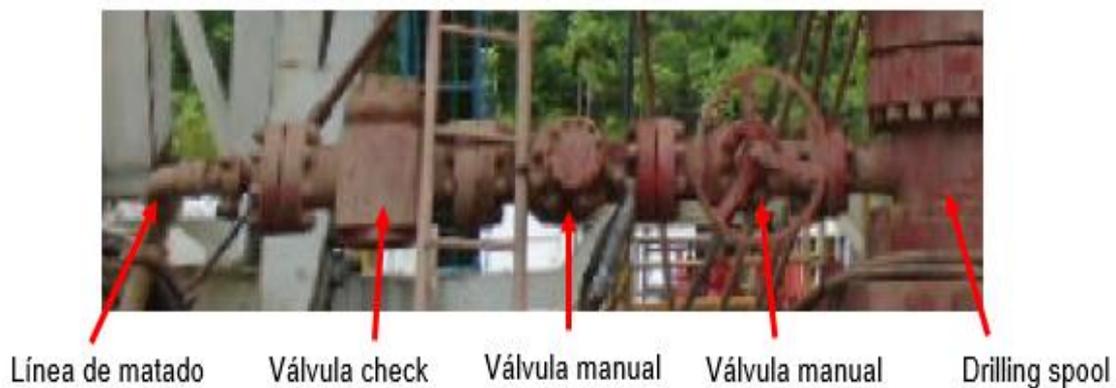


Figura 24. Válvulas de la línea de matado

- Manifold de choke. Como se muestra en la Figura 25, es un arreglo de válvulas manuales de compuerta, una válvula de choke manual y una válvula de choke hidráulica para permitir la salida controlada del fluido a presión o en su defecto cerrar completamente la salida del fluido, dependiendo de lo requerido en caso de una arremetida. El fluido que

sale del manifold de choke se dirige al desgasificador atmosférico (poorboy).

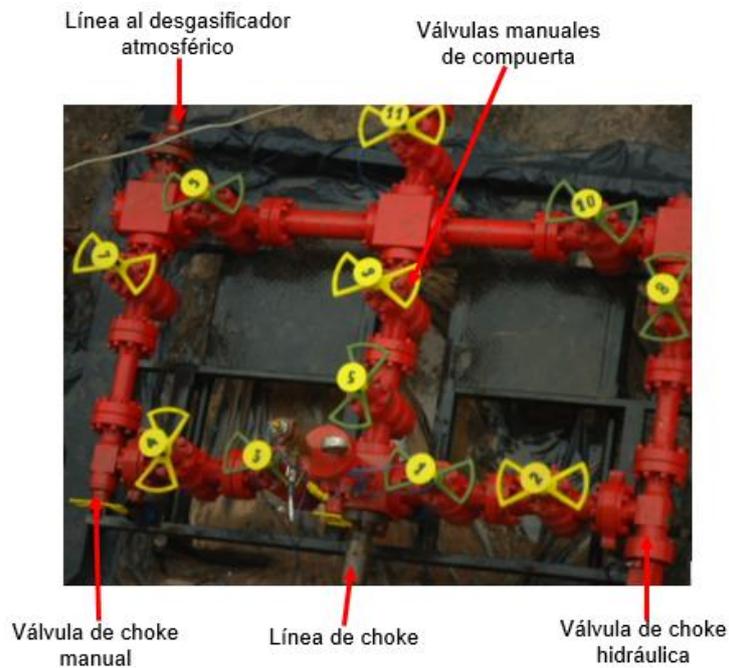


Figura 25. Manifold de choke

- Unidad de control del BOP. Es una cabina de control hidráulica, desde la cual se abren o cierran las válvulas preventoras del BOP o la válvula hidráulica de la línea de choke. Para que el tiempo de respuesta de apertura o cierre de las preventoras sea la menor posible se cuenta con un conjunto de botellas acumuladoras de presión.



Figura 26. Unidad de control del BOP

- Consola de super choke. Es una pequeña unidad remota que controla la válvula de choke hidráulica ubicada en el manifold de choke.
- Unidad de prueba del BOP. Es una bomba neumática y un tapón de prueba utilizada para realizar pruebas de funcionamiento del BOP fuera de la cabeza del pozo.

### 1.6.2. Importancia de la Calidad en el Servicio de Perforación.

En la industria petrolera, y específicamente en la perforación de pozos, es muy importante la calidad del servicio, ya que realizar la perforación de un pozo en el menor tiempo posible y con el menor número de fallas genera una optimización de costos para las empresas que brindan el servicio de renta de taladros y para las operadoras de los campos petroleros que obtienen el petróleo luego de la perforación de un nuevo pozo.

Para establecer una verdadero control y aseguramiento de la calidad es necesario establecer un círculo de mejora continua, en base a lo establecido por Deming y replicado por Ishikawa en sus libros. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.7)

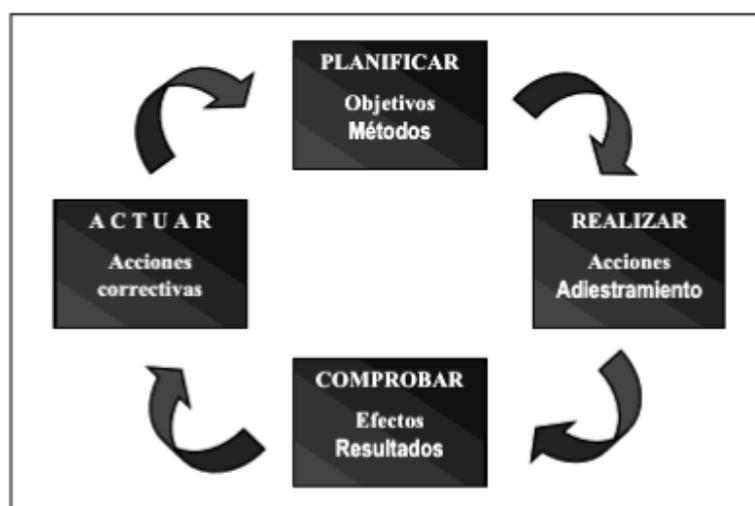


Figura 27. Círculos de Control.

Tomado de: Cuatrecasas, 2012.

Dentro de cada etapa del círculo de control se recomienda aplicar una o varias metodologías de la calidad como son:

- 5W-2H que significa preguntarnos What=qué, Who=quién, Where=dónde, When=cuándo, Why= por qué, How = cómo, How much = cuánto. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)
- Las 6Ms que significa analizar Materia prima, Maquinaria y equipo, Método, Medio ambiente, Medición y Mano de obra. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)
- Las 6S's que significa aplicar Seri=arreglar, Seiton=ordenar, Seisou=limpiar, Seiketsu=mantener/conservar, Shukan=hábito, Shitsuke=Disciplina. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)

De esta manera es muy importante establecer un control de la calidad en el servicio de perforación de un pozo para llevar una satisfacción del cliente y una mejora continua al reducir los tiempos no productivos durante las operaciones de perforación de nuevos pozos de petróleo.

### **1.6.3. Herramientas Estadísticas.**

Dentro del proceso de investigación es muy importante la toma y análisis de los datos, con el fin de plantear las acciones correctivas y preventivas que ayuden a obtener los resultados positivos esperados.

Dentro del manejo de datos es crucial el uso de las diferentes herramientas estadísticas como son: (Martínez, 2012, cap. 1)

- Medidas de Tendencia Central.
- Medidas de Dispersión.
- Distribución normal.

En el análisis de tiempos no productivos es muy importante tomar correctamente los datos y darles el correcto análisis con el fin de tomar acciones y decisiones que ayuden a disminuir el tiempo de fallo de los equipos.

#### 1.6.4. Herramientas de Calidad.

Las herramientas de la calidad dan un lineamiento para lograr la mejora continua de los procesos de mantenimiento, permitiendo identificar los principales problemas que generan las fallas de los equipos, y así tomar las acciones correctivas y preventivas pertinentes con el fin de disminuir de los tiempos no productivos. Las principales herramientas de la calidad son:

##### 1.6.4.1. Diagrama de causa y efecto

Es una herramienta para realizar un análisis organizado de las causas que influyen en el origen de un problema a partir de sus efectos. Como se puede observar en la Figura 28 los factores causales provenientes de las 6M's (maquinaria, mano de obra, materiales, medio ambiente, métodos, mantenimiento) se dirigen por medio de flechas inclinadas al eje central del efecto. En cada flecha inclinada se colocan las causas y subcausas encontradas correspondientes a cada factor causal. Por su forma este diagrama también es conocido como de espina de pescado o diagrama de Ishikawa. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)

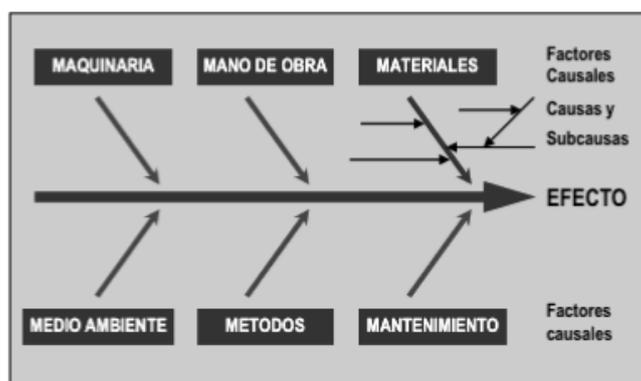


Figura 28. Diagrama de Ishikawa.

Tomado de: Cuatrecasas, 2012.

### 1.6.4.2. Diagrama de Pareto

Esta herramienta permite tener una gráfica que muestra que causas o factores son los que hay que resolver más prioritariamente. La regla del economista Pareto es que el 80% de los efectos o problemas se dan en base al 20% de las causas más relevantes. En la Figura 29 se puede observar que el diagrama de Pareto consiste en ordenar de mayor a menor los efectos de las causas con el fin de identificar cuáles son las causas que generan el mayor efecto en la frecuencia o el costo de los efectos. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)

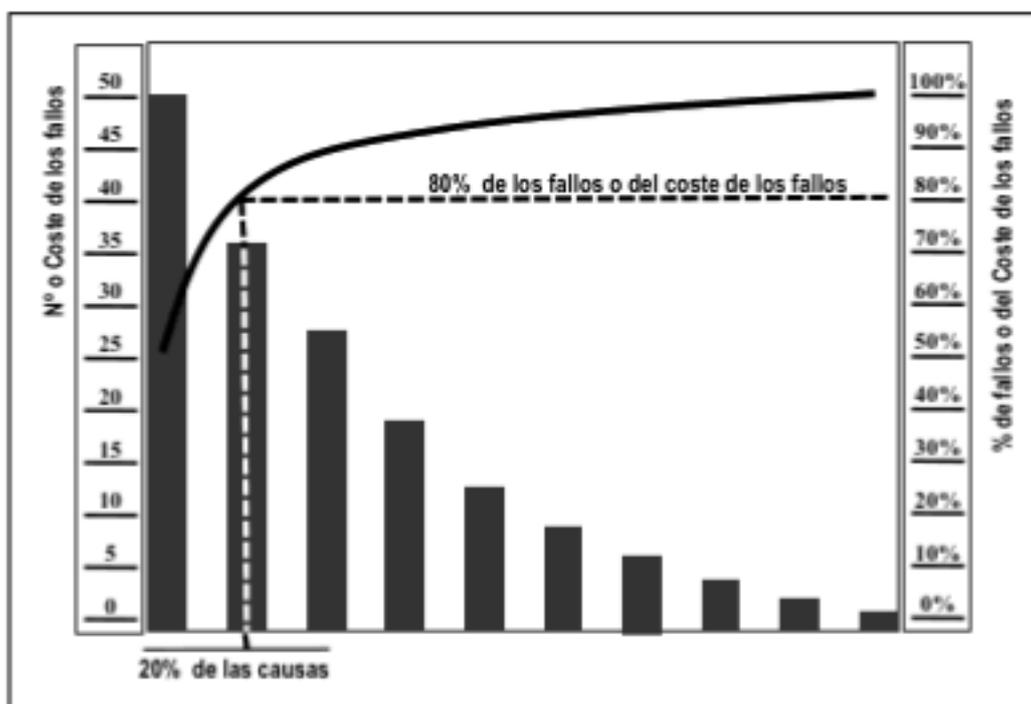


Figura 29. Diagrama de Pareto.

Tomado de: Cuatrecasas, 2012.

### 1.6.4.3. Hoja de recogida de datos

También conocidos como check lists, es la herramienta que se utiliza para obtener información importante y ordenada establecida en plantillas o tablas predefinidas. Por ejemplo, se prestablecen check lists para tomar parámetros de funcionamiento de los equipos. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)

#### **1.6.4.4. Brainstorming**

Esta herramienta es complementaria a las descritas anteriormente, ya que consiste en reunir un equipo de trabajo de expertos de diferentes áreas para analizar los resultados obtenidos con el diagrama de causa-efecto, diagrama de Pareto, hojas de datos, etc., y establecer una lluvia de ideas de posibles soluciones para luego discutirlos y llegar a definir que soluciones son las más efectivas para resolver el problema y las causas principales que contribuyen a la repetición de este. (Cuatrecasas, 2012, cap. 16.8)

#### **1.6.5. Herramientas de Mantenimiento**

Las herramientas de mantenimiento serán las guías que deberán aplicarse en la ejecución de las inspecciones, mantenimientos correctivos, mantenimientos preventivos y certificaciones de los equipos, con el fin de prolongar la vida útil de estos y disminuir la frecuencia y severidad de las fallas. Las principales herramientas utilizadas son:

##### **1.6.5.1. Manuales del fabricante.**

Esta es una herramienta muy importante, ya que muestra las recomendaciones del fabricante para operar y aplicar los diferentes niveles de inspecciones y mantenimientos que necesitan los equipos de un taladro de perforación mostrados en la sección 1.6.1.

##### **1.6.5.2. Estándares internacionales**

Los estándares internacionales como (API – ASME – AWS – ASNT) muestran prácticas recomendadas y necesarias para realizar inspecciones, mantenimientos y certificaciones de los equipos de un taladro de perforación.

Los estándares de prácticas recomendadas muestran cuatro categorías de inspección y mantenimiento denominadas CAT I, CAT II, CAT III y CAT IV.

Cómo práctica recomendada las inspecciones y mantenimientos CAT I y CAT II pueden ser realizadas por los trabajadores de la compañía, mientras que las inspecciones, mantenimientos y certificaciones CAT III y CAT IV se realizan por ingenieros y técnicos acreditados para efectuar los trabajos necesarios en los equipos.

### **1.6.5.3. Aplicación y Optimización del Mantenimiento**

Esta herramienta ayudará a analizar los tipos de mantenimiento que se pueden dar a los equipos (mantenimiento correctivo – mantenimiento preventivo). Y de qué manera se puede optimizar el uso de cada uno para reducir los tiempos no productivos y optimizar los costos de mantenimiento de los equipos. (Navarro et al, 1997, pág. 91).

### **1.7. Sistema Informático de Mantenimiento (SIMEF)**

Para optimizar la gestión de la información del proceso de mantenimiento se utilizará esta herramienta desarrollada por el Ing. Esteban Fierro con certificado No. QUI-054631 en la Dirección Nacional de Derecho de Autor y Derechos Conexos. Con esta herramienta se busca obtener y ordenar la información relevante de los mantenimientos dados a los equipos del taladro.

### **1.8. Justificación del Tema**

Los tiempos no productivos generan una pérdida de tiempo y dinero importante no solo para la empresa prestadora del servicio de renta de taladros, sino que también para sus clientes. Al reducir estos tiempos muertos se mejora la calidad del servicio y por ende se incrementa la satisfacción del cliente.

El mejorar los procesos de mantenimiento de los equipos, generan una optimización de costos extra al evitar paros inesperados extendidos por fallas que pudieron ser detectadas en una inspección o mantenimiento preventivo.

Tener equipos en buen estado y operativos previenen problemas colaterales como pueden ser accidentes o daños al medio ambiente. Esto ya que una falla de un equipo de gran capacidad puede generar accidentes potenciales o en su defecto derrames o emanaciones de gases que afectan al medio ambiente.

Al realizar un correcto análisis de causas raíz, se previene la recurrencia de fallos en los equipos, que pueden generar daños posteriores mayores que por ende tomarán un mayor tiempo de reparación.

### **1.9. Aspectos Metodológicos**

La investigación de este proyecto iniciará con un análisis cuantitativo y clasificatorio de los tiempos no productivos. Se medirá el 100% de los tiempos no productivos y se los clasificará de acuerdo con la causa, tiempo, equipo y sistema al que lo afectó. Los datos de los tiempos no productivos se los recopilará en un reporte normalizado que deberá ser llenado y reportado a Quito cada vez que se genere un tiempo no productivo durante las operaciones de un taladro de perforación. Todos los datos de los reportes serán cargados en una hoja de Excel con el fin de generar una base de datos estadísticos para su posterior análisis.

De acuerdo con lo obtenido en el análisis de datos, se utilizarán las herramientas de calidad con el fin de detectar los principales problemas, las causas raíz de estos problemas y plantear las acciones correctivas y preventivas a aplicarse en el proceso de mantenimiento.

Luego de 6 meses de implementar las acciones correctivas y preventivas en el proceso de mantenimiento, se realizará un nuevo análisis de datos para observar si dichas acciones tuvieron un resultado positivo en los tiempos no productivos durante las operaciones de perforación de un pozo.

De esta manera se puede observar que en este proyecto se sigue un modelo de estudio explicativo, ya que se realizarán mejoras en el proceso de mantenimiento para reducir los tiempos no productivos durante las operaciones de pozos petroleros. Así se concluirá si los cambios realizados en el proceso de mantenimiento fueron o no positivos en el mejoramiento de la calidad del servicio.

## **2. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

### **2.1. Obtención de Datos**

Los datos obtenidos son todos los eventos con pérdida de tiempo en los equipos de un taladro de perforación que se encuentra operando dentro del bloque 61 del territorio ecuatoriano desde enero del año 2017 hasta el mes de diciembre año 2018. Estos datos están divididos en dos períodos que son:

- Año 2017, período previo a realizar mejoras en el proceso de mantenimiento.
- Año 2018, período luego de realizar mejoras en el proceso de mantenimiento.

Todos estos datos son obtenidos en el taladro y reportados a Quito de acuerdo con el reporte de operaciones diarias firmados y aprobados por el representante del cliente. Los datos se los explica en los siguientes puntos.

#### **2.1.1. Número**

Una vez que se genere un evento con tiempo no productivo, se le asignará al evento un número entero arábigo que iniciará desde uno y se incrementará de manera consecutiva y ascendente. De esta manera cada evento generado tendrá un número de identificación que no podrá repetirse.

### 2.1.2. Pozo

A cada pozo que se va a perforar, el Estado Ecuatoriano le asigna un nombre de acuerdo con el campo petrolero en el cual se está perforando. En el reporte, se deberá registrar el nombre del pozo durante el cual ocurrió el evento del NPT, por ejemplo: ACAJ-200.

### 2.1.3. Fecha y hora de inicio del NPT

Para motivo de análisis, se considera que las fechas y horas de inicio de cualquier evento con NPT tendrán una precisión de 30 minutos o 0.5 de hora.

La fecha y hora de inicio será tomada a partir del momento en el cual se suspenden las operaciones de perforación para iniciar el mantenimiento correctivo. El símbolo para identificar la fecha y hora de inicio es:  $FH_i$

### 2.1.4. Fecha y hora de finalización del NPT

Al igual que en el punto anterior, se considera que las fechas y horas finales de cualquier evento con NPT tendrán una precisión de 30 minutos o 0.5 de hora.

La fecha de finalización será tomada a partir del momento en el cual finaliza el mantenimiento correctivo del equipo y se continúan las operaciones normales de perforación del pozo. El símbolo para identificar la fecha y hora final es:  $FH_f$

### 2.1.5. Tiempo no productivo (NPT)

El tiempo no productivo será la diferencia entre la fecha y hora de finalización del evento con la fecha y hora de inicio del evento que se encuentran descritos en los puntos anteriores.

$$NPT = FH_f - FH_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

### 2.1.6. Pérdida de dinero (LM)

Para este análisis se registrará la pérdida de dinero directa que se genera por consecuencia de los NPTs en los equipos de perforación del taladro.

Para determinar el valor del dinero que pierde la empresa por consecuencia de los NPTs, se tomará en cuenta que por el tiempo que los equipos están en mantenimiento correctivo, el cliente no pagará la tarifa de renta de los equipos cuyo valor es de \$28.800,00 / día.

Para determinar el valor por hora lo dividimos para 24 horas y obtenemos que el valor de renta de todos los equipos de un taladro de perforación es \$1.200,00 / h.

De esta manera la pérdida de dinero será de acuerdo con la siguiente expresión.

$$LM = NPT * 1.200,00 \quad (\text{Ecuación 2})$$

### 2.1.7. Sistema

Para motivos de análisis, y tal como se observa en el punto 1.6.1, se considerarán los cinco sistemas principales del taladro que son:

- Sistema de izamiento
- Sistema de circulación
- Sistema de torque
- Sistema de control de pozos
- Sistema de potencia

Además de los cinco sistemas principales del taladro, se considerará un sexto grupo de equipos conocido como Misceláneos, el cual abarcará los tiempos no

productivos que se pudieran suscitar por equipos que no se encuentran dentro de los sistemas principales.

### **2.1.8. Equipo**

Se tomará la descripción del equipo cuya falla generó el NPT, hay que tener en cuenta la correspondencia entre el equipo con el sistema mencionado en la sección 2.1.7

Para el análisis del presente proyecto se excluirán las estadísticas de NPTs generadas por el equipo "TOP DRIVE SYSTEM", en vista de que la empresa subcontrata a una tercera compañía para brindar el servicio de mantenimiento, la misma que asume toda la responsabilidad en caso de darse una falla de estos equipos.

### **2.1.9. Descripción de Operaciones**

Se refiere a las operaciones que se están ejecutando en el momento del NPT, dentro de los cuales se podrá elegir una de las siguientes opciones:

- Perforación 26".
- Casing 20"
- Perforación 16"
- Casing 13 3/8"
- Perforación 12 1/4"
- Casing 9 5/8"
- Perforación 8"
- Liner 7"
- Completación.

Por otro lado, se registrará una breve descripción de las actividades, parámetros y acciones inmediatas que se tomaron antes, durante y luego de resolver el NPT.

#### 2.1.10. Causa principal

Se registrará la causa principal que ocasionó el NPT en base a una investigación de los Jefes de Pozo y el personal técnico del taladro.

#### 2.1.11. Observaciones

Si existe un comentario adicional a la información requerida entre la información descrita en los puntos 2.1.1 - 2.1.11, se registrará en la casilla de observaciones.

#### 2.1.12. Tabla de registro de NPTs

Para visualizar la información levantada de una forma más ordenada se registrará la información descrita en los puntos 2.1.1 - 2.1.11 en la siguiente tabla.

Tabla 1.

*Registro de NPTs*

No.	$FH_i$	$FH_f$	NPT	LM	Pozo	Sistema	Equipo	Descripción	Causa	Observaciones

La tabla del registro de los NPTs de los equipos del taladro de perforación correspondientes al año 2017 se encuentran detallados en el **ANEXO 1** y los correspondientes al año 2018 se encuentran detallados en el **ANEXO 8**.

## 2.2. Análisis de Datos Previo a Mejoras en el Proceso de Mantenimiento

Luego de obtener todos los datos durante el año 2017, se realizó un análisis de los eventos con NPTs y la pérdida de dinero previo a realizar las mejoras en el proceso de mantenimiento, enfocándose en el sistema y equipos del taladro de perforación. Para esto analizaremos los siguientes puntos.

### 2.2.1. Análisis estadístico del año 2017.

El análisis estadístico se realizó en base a las medidas de tendencia central y distribución del tiempo y la pérdida de dinero causado por las 29 fallas generadas según el **ANEXO 1**, obteniendo los resultados mostrados en la *Tabla 2*.

Tabla 2.

*Medidas de tendencia central y dispersión de los datos del año 2017.*

MEDIDA	TIEMPO	DINERO
Mínimo	0:30:00	\$ 600,00
Máximo	20:00:00	\$ 24.000,00
Promedio	1:55:52	\$2.317,24
Moda	0:30:00	\$600,00
Mediana	1:00:00	\$1.200,00
Desviación std	3:42:53	\$4.457,58
Rango	19:30:00	\$23.400,00
Total	56:00:00	\$ 67.200,00

### Análisis de resultados

- Existe una relación directa entre el tiempo de NPTs y la cantidad de dinero perdido por estos.
- El evento con tiempo mínimo perdido es de 30 minutos o \$ 600,00.
- El evento con tiempo máximo perdido es de 20 horas o \$ 24.000,00.

- La media de tiempo perdido es 1 hora y 55 minutos o \$ 2.317,24.
- La moda de tiempo perdido es de 30 minutos o \$600,00.
- La mediana es de 1 hora o \$1.200,00.
- La desviación estándar es de 3 horas con 42 minutos a \$4.457,58.
- La desviación estándar es mayor que la media, mediana o moda, lo cual se corrobora con el rango el grande sesgo de los datos, observándose una moda de solo 30 minutos y eventos con fallas de hasta 20 horas.
- Durante el año 2017, existe un total de 56 horas de tiempo perdido que corresponde a \$ 67.200,00 de pérdida para la empresa.

### 2.2.2. Número de eventos con NPT y pérdida de dinero en los Sistemas y equipos del año 2017.

Tal como se explicó en los literales 2.1.7 y 2.1.8, los equipos se encuentran dentro de los sistemas principales del taladro. Y luego de revisar el historial de eventos con NPT durante el año 2017 en el **ANEXO 1**, se observa que existieron un total de 29 eventos con NPT, los cuales se distribuyeron por sistema y equipos de acuerdo con la *Tabla 3* y *Figura 30*.

Tabla 3.

*Número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2017.*

SISTEMA	CUENTA DE NPT	EQUIPOS	CUENTA DE NPT
SISTEMA DE CIRCULACIÓN	9	BOMBAS DE LODO	5
		FLOW LINE	3
		STAND PIPE	1
SISTEMA DE IZAMIENTO	6	MALACATE	3
		WINCHE DE CASING	2
		CABLES DE IZAMIENTO DE	1

		BOP	
SISTEMA DE POTENCIA	6	GENERADORES	3
		CASA SCR	2
		CABINA DE CONTROL	1
SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	5	BANCO DE PRUEBAS DE BOP	2
		SUPER CHOQUE	2
		BOP	1
MISCELÁNEOS	2	MONTACARGAS	1
		SHOOTING NIPLE	1
SISTEMA DE TORQUE	1	LLAVE HIDRÁULICA ST-80	1
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>TOTAL</b>	<b>29</b>

Sin embargo, el número de eventos con NPT debe complementarse con la cantidad de dinero que se pierde por sistema y equipos. En el año 2017 se perdió un total de \$67.200,00 los cuales se distribuyeron por sistema y equipos de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Figura 31.

Tabla 4.

*Pérdida de dinero por NPTs por Sistema y Equipo del Taladro de Perforación en el año 2017.*

SISTEMA	PÉRDIDA DE DINERO POR NPT	EQUIPOS	PÉRDIDA DE DINERO POR NPT
SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	\$30.000,00	BOP	\$24.000,00
		BANCO DE PRUEBAS DE BOP	\$3.000,00
		SUPER CHOKE	\$3.000,00
SISTEMA DE CIRCULACIÓN	\$16.200,00	BOMBAS DE LODO	\$9.600,00
		FLOW LINE	\$5.400,00
		STAND PIPE	\$1.200,00
SISTEMA DE IZAMIENTO	\$12.600,00	MALACATE	\$9.600,00
		WINCHE DE CASING	\$1.800,00
		CABLES DE IZAMIENTO DE BOP	\$1.200,00
SISTEMA DE POTENCIA	\$5.400,00	GENERADORES	\$2.400,00
		CASA SCR	\$1.800,00
		CABINA DE CONTROL	\$1.200,00
MISCELÁNEOS	\$1.800,00	SHOOTING NIPLE	\$1.200,00
		MONTACARGAS	\$600,00
SISTEMA DE TORQUE	\$1.200,00	LLAVE HIDRÁULICA ST-80	\$1.200,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$67.200,00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$67.200,00</b>

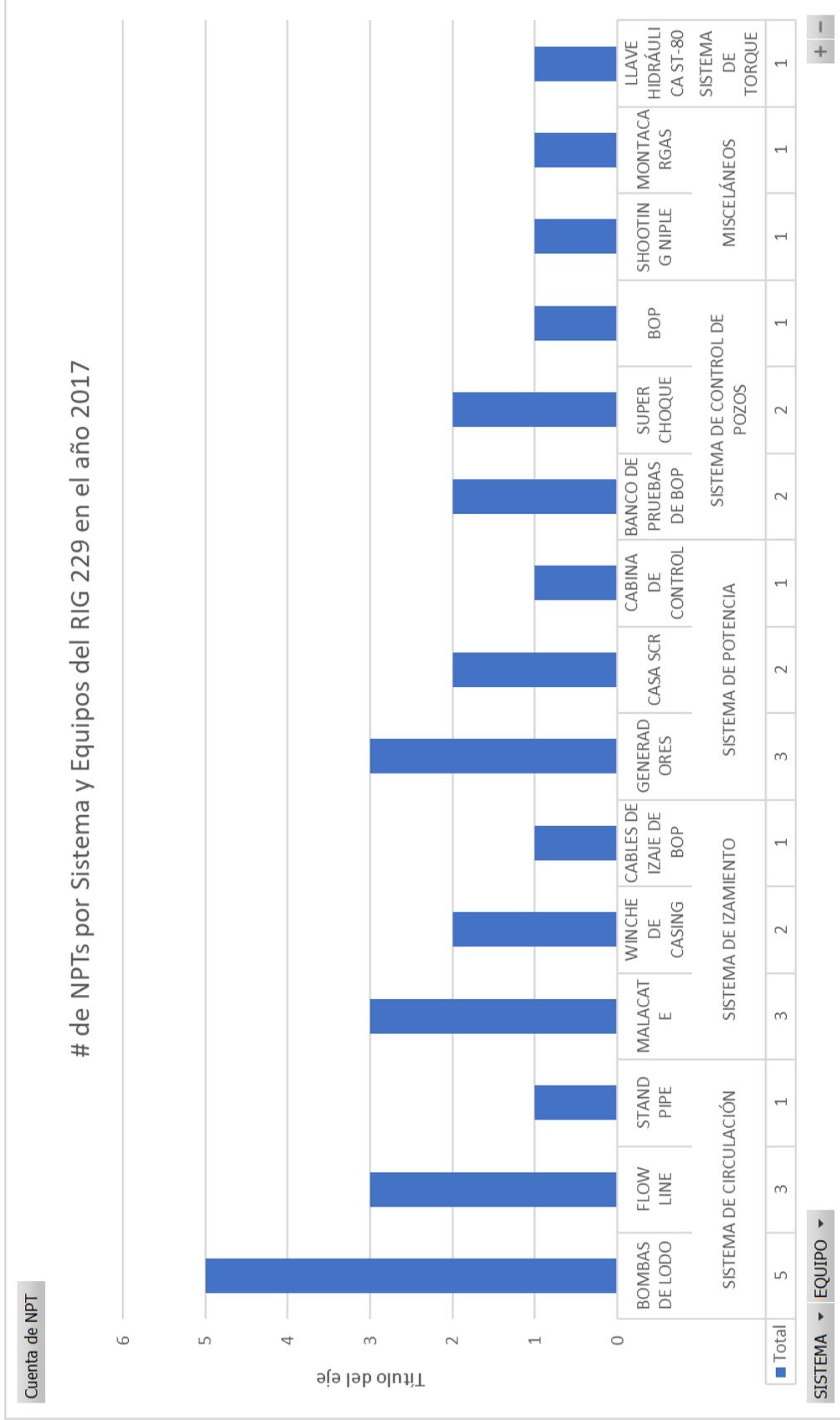


Figura 30. Gráfica de número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2017.

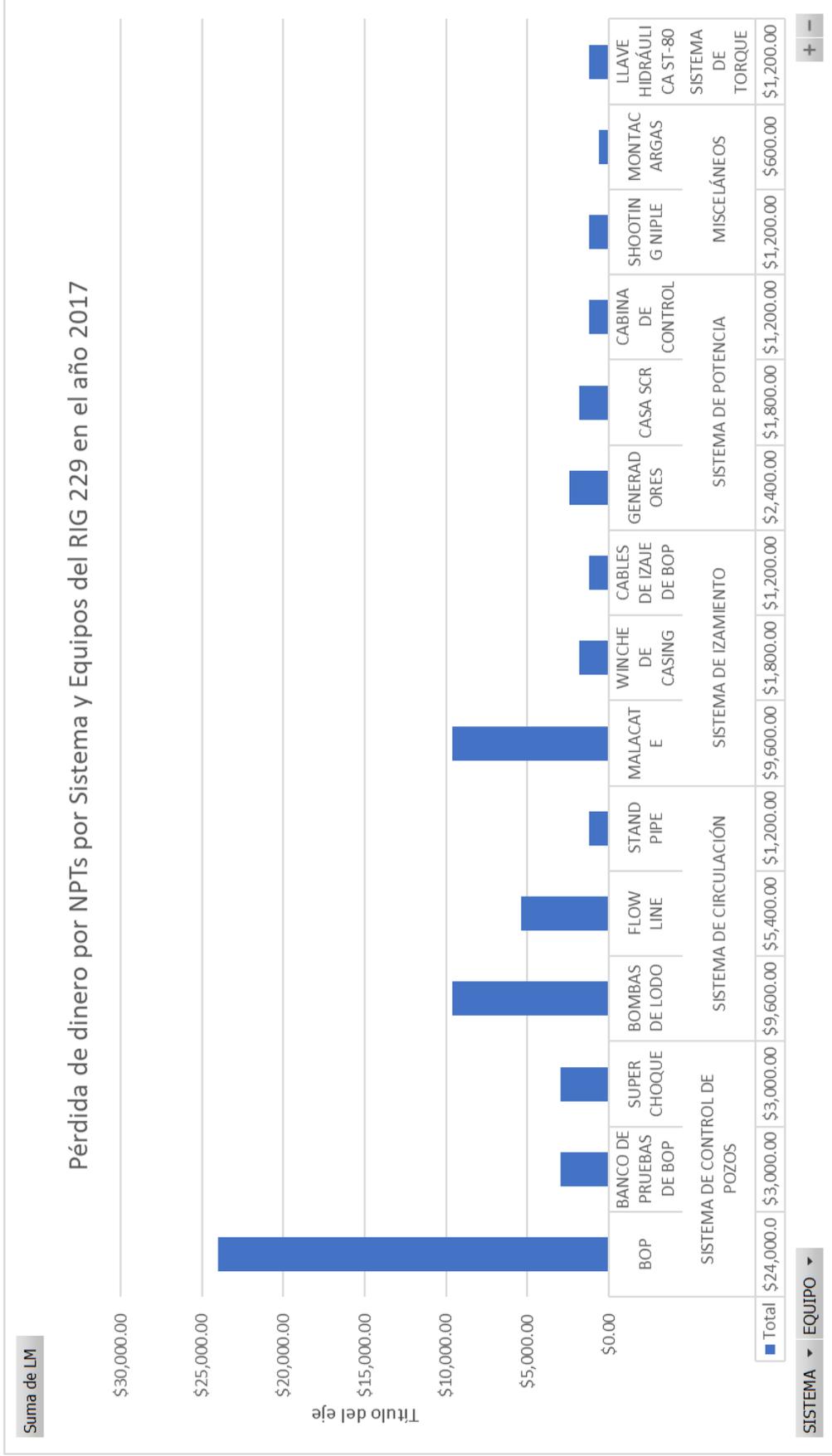


Figura 31. Gráfica de Dinero perdido por NPTs por Sistema del Taladro de Perforación en el año 2017

## **Análisis de resultados**

- Los equipos del sistema de control de pozos generaron la mayor pérdida de dinero con \$30.000,00 por 5 eventos registrados. De los 5 eventos 1 evento en el BOP generó 20 horas de NPT con una pérdida de dinero de \$24.000,00, el resto de dinero y tiempo perdido lo generaron el banco de pruebas del BOP y la consola del super choke con \$3.000,00 cada uno.
- Las bombas de lodo del sistema de circulación son los equipos que más fallas presentan con 5 de los 9 eventos del sistema. Las 5 fallas de las bombas de lodo generaron \$9.600,00 de pérdida, seguido por 3 eventos en el Flow line que generaron \$5.400,00 de pérdida. Finalmente 1 falla del stand pipe generó una pérdida de \$1.200,00.
- Los equipos del sistema de izamiento fallaron 6 veces, de las cuales 3 fueron por el malacate y generaron \$9.600,00 de pérdida de los \$12.600,00. El winche de casing falló 2 veces con una pérdida de \$1.800,00. Finalmente, los cables de izamiento del BOP no estuvieron certificados por lo que se perdió \$1.200,00.
- Los generadores fallaron 3 veces originando una pérdida de \$2.400,00. El sistema eléctrico generó una pérdida de \$1.800,00 por 2 apagones. La cabina de control falló una vez perdiendo \$1.200,00.
- Los equipos misceláneos generaron \$1.800,00 dólares de pérdida por dos fallas.
- La llave ST-80 del sistema de torque falló una vez por lo que se perdió \$1.200,00.

## **3. PLANES DE MEJORA E IMPLEMENTACIÓN**

Las mejoras para realizarse en el proceso de mantenimiento se basaron en los criterios de calidad del círculo de Deming expuesto en el literal 1.6.1, para lograr así la mejora continua de este. Para realizar los planes de mejora se utilizaron las diferentes herramientas de calidad y mantenimiento mostradas en los literales 1.6.4 y 1.6.5 respectivamente.

### **3.1. Proceso de Mantenimiento Previo a Mejoras**

Previo a realizar cualquier plan o propuesta de mejoras es muy importante analizar el punto de partida o situación inicial del proceso de mantenimiento, el cual que de acuerdo con los datos y análisis realizados en el Capítulo 2 por las recurrentes y prolongadas fallas de los equipos se tiene falencias que deben ser mejoradas. El proceso de mantenimiento se divide en dos ejes que son: eje de planificación y ejecución, y eje de responsabilidades. Estos ejes se los explica más a fondo en los puntos 3.1.1 y 3.1.2 respectivamente.

#### **3.1.1. Eje de planificación y ejecución.**

En el eje de planificación y ejecución se muestra el plan de mantenimiento de los equipos y la ejecución de estos planes. Este eje se divide en cinco secciones que son: planificación, certificación de equipos, inspecciones rutinarias, mantenimientos correctivos y control. Estas secciones del eje se los detallará más a fondo en los siguientes puntos.

##### **3.1.1.1. Planificación.**

Para planificar los mantenimientos a realizarse en los equipos, se utiliza el manual de mantenimiento para taladros de perforación de la empresa, en este manual se encuentran las frecuencias y los responsables de las diferentes actividades de mantenimiento a realizarse en los equipos.

##### **3.1.1.2. Certificación de Equipos.**

Dentro de la planificación es muy importante recalcar el tema de certificación y mantenimientos mayores de los equipos principales de los taladros. Las frecuencias de las certificaciones se muestran en los procedimientos del manual de mantenimiento. El control se lo realiza bajo una hoja llamada matriz de trazabilidad de equipos.

#### **3.1.1.3. Inspecciones rutinarias**

En base al manual de mantenimiento, se deben llenar varios reportes que se encuentran clasificados por equipos o sistemas. En estos reportes se encuentran diferentes niveles de mantenimiento de los equipos, clasificados por reportes diarios, semanales, mensuales, etc.

#### **3.1.1.4. Mantenimientos Correctivos**

Una vez identificada una falla en los equipos, se evalúa si se puede realizar la reparación en campo. Si es factible se realiza la reparación en la locación, caso contrario el equipo debe ser enviado a la base del Coca de la empresa para tomar las acciones correctivas del caso. Los mantenimientos correctivos son reportados mediante un formato de fallas.

#### **3.1.1.5. Control**

El control del proceso de mantenimiento es mediante reportes de mantenimiento que se manejan de tres diferentes maneras:

- Matriz de trazabilidad de equipos. Es un reporte que no tiene una frecuencia establecida, se la realiza por mail cada vez que el coordinador de mantenimiento lo requiera.
- Reportes rutinarios. Estos reportes son llenados a mano y de manera diaria por la cuadrilla de mantenimiento y en caso de requerir reportes de determinadas fechas, se escanea y envía a la ciudad de Quito en CD.

- Reportes de mantenimientos correctivos. En estos reportes se solicita detallar las acciones correctivas de los equipos, la causa principal de la falla y un registro fotográfico del proceso de reparación. Cada vez que se realice un mantenimiento correctivo a un equipo principal, este deberá ser reportado.
- Reportes por terceras compañías. Cada vez que una tercera compañía realice trabajos de mantenimiento o certificación de los equipos, se deberá actualizar la matriz de trazabilidad y enviar a Quito con los sustentos de los reportes e informes presentados por las terceras compañías.

### **3.1.2. Eje de Responsabilidades**

En este eje se muestran los diferentes niveles de responsabilidades de los trabajadores y terceras compañías, así como de los roles que cumplen dentro del proceso de mantenimiento. El eje de responsabilidades se divide en cinco secciones que son: ingeniería de mantenimiento, gerencia de campo, terceras compañías, staff de campo y cuadrilla de mantenimiento de campo. Estas secciones del eje se los detallará más a fondo en los siguientes puntos.

#### **3.1.2.1. Ingeniería de Mantenimiento**

En este nivel se desarrollan los planes de mantenimiento de todos los equipos, así como las estrategias para tener un control adecuado de la ejecución de los planes y oportunidades de mejora.

#### **3.1.2.2. Gerencia de Campo**

Este nivel es el encargado de realizar los mantenimientos de paro de los equipos. Tienen la infraestructura necesaria para realizar mantenimientos CAT III y dan soporte en mantenimientos correctivos que no se puedan ejecutar en los taladros.

### **3.1.2.3. Terceras compañías**

Son proveedores que tienen la experiencia y están acreditados para realizar inspecciones, mantenimientos o certificaciones CAT III o CAT IV de los diferentes equipos.

### **3.1.2.4. Staff de campo**

Es el grupo de ingenieros del taladro que dan soporte a la coordinación y ejecución de los planes de mantenimiento, ya sea llamando a proveedores de servicios de inspecciones y mantenimiento o reportando a ingeniería de mantenimiento los trabajos realizados en los equipos.

### **3.1.2.5. Cuadrilla de mantenimiento de campo**

Es el conjunto de técnicos eléctricos y mecánicos que ejecutan los trabajos de inspección rutinaria, mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos.

Es de esta manera que proceso de mantenimiento previo a mejoras se observa en la Figura 32, y el **ANEXO 2**.

## **3.2. Mejoras Propuestas Para el Proceso de Mantenimiento.**

Las mejoras propuestas para el proceso de mantenimiento se realizaron analizando las herramientas de calidad y mantenimiento disponibles en los puntos 1.6.4 y 1.6.5 respectivamente.

Las mejoras propuestas serán realizadas principalmente en el eje de planificación y ejecución visto en el punto 3.1.1. y se las detalla más a fondo en los siguientes puntos.

### **3.2.1. Mejoras en planificación.**

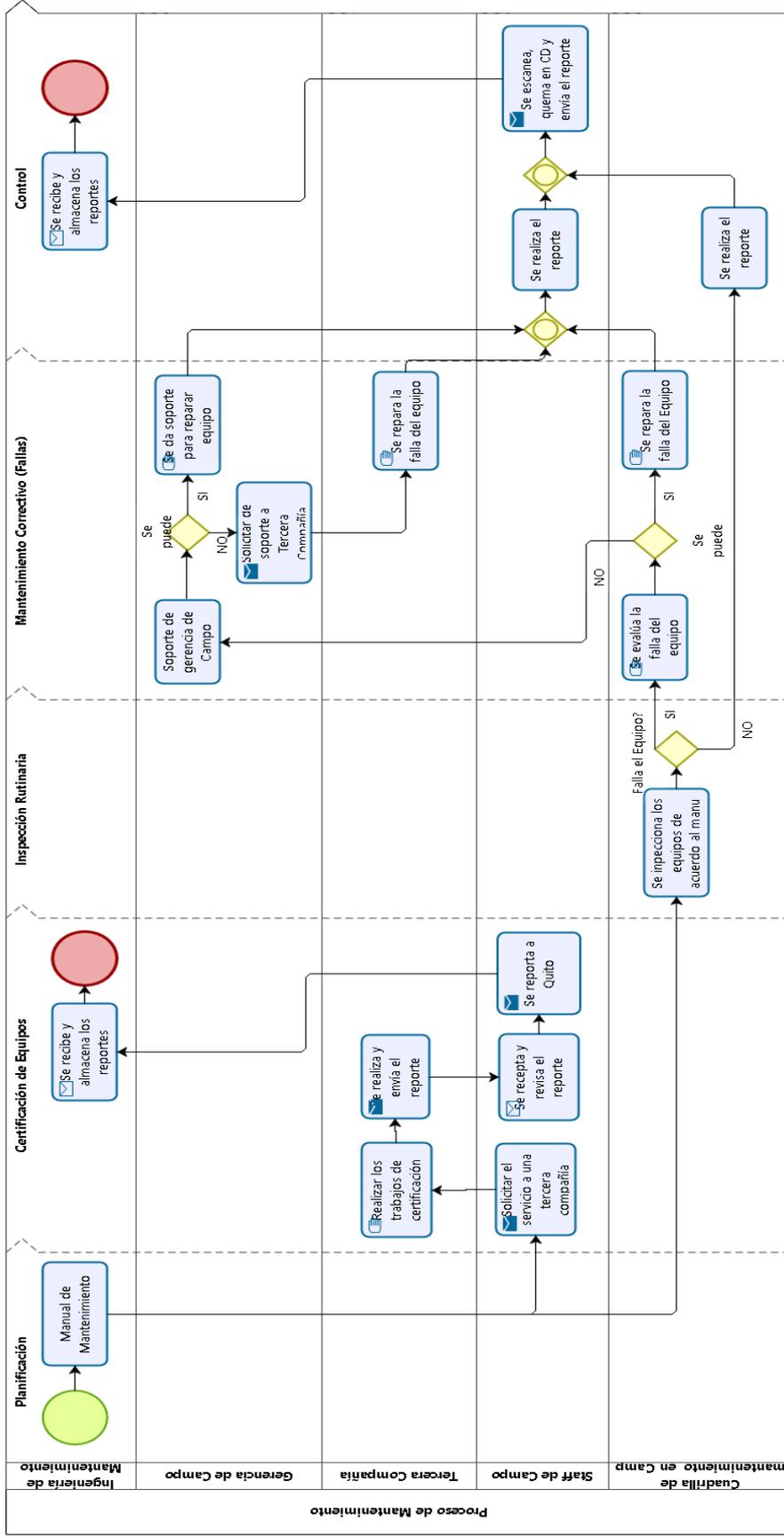


Figura 32. Proceso de mantenimiento previo mejoras.

En la planificación se realizaron lluvia de ideas con técnicos mecánicos y eléctricos del taladro, recopilando información del alcance de las inspecciones y mantenimientos que se realizan en los taladros y se propuso las siguientes mejoras.

- Como complemento al manual se desarrolla un plan general de mantenimiento. Este plan será en forma de una matriz y mostrará la siguiente información:

Tabla 5.

*Esquema de la matriz de mantenimiento.*

Sistema	Equipo	Trabajo	Trabajos	Responsable	Frecuencia
<b>Nombre del sistema</b>	Nombre del equipo	“Inspección” “Mantenimiento” “Certificación”	Actividad para realizar	“Mecánico” “Eléctrico” “Supervisor” “Perforador” “Encuellador” “Cuñeros”	“Diario” “Semanal” “Mensual” “500 h” “1000 h” “2000 h” etc.

- Como se puede observar en la *Tabla 5* dentro de la matriz de mantenimiento, se asignan responsabilidades de inspección también a la cuadrilla de operación. Esto con el fin de identificar indicios de fallas de los equipos durante su operación.

### 3.2.2. Capacitación

Dentro del eje de planificación y ejecución se añade la capacitación del personal, todos los trabajadores de las cuadrillas operativas y de mantenimiento, deberán ser capacitados internamente en los planes de mantenimiento de los equipos de acuerdo con la matriz de mantenimiento. Por otro lado, los trabajadores de la cuadrilla de mantenimiento deberán recibir capacitaciones externas en temas de mantenimiento relacionados con su área.

Dentro del proceso de Mantenimiento la capacitación será un subproceso de apoyo, el cual se lo puede observar en el **ANEXO 4**.

### **3.2.3. Mejoras en Certificación de Equipos.**

En el manual de mantenimiento se explica el tipo y la frecuencia de la certificación. Ahora es necesario resaltar el alcance de cada certificación y especificar los trabajos recomendados que se deben realizar para inspeccionar, dar mantenimiento y certificar a los equipos según CAT III y CAT IV. Esto se muestra en la matriz de mantenimiento al señalar el tipo de trabajo a realizarse en el equipo. El término “certificación” en la *Tabla 5* indica puntualmente los trabajos recomendados para realizar una certificación de un equipo.

Para el control de las certificaciones se implementó un registro de certificaciones mostrado en el punto 3.2.6. Por otro lado, se identificaron las empresas acreditadas que tienen la experiencia y la infraestructura para realizar las inspecciones, mantenimientos y certificaciones CAT III y CAT IV.

La certificación de equipos al igual que la capacitación es un subproceso de apoyo el cual se muestra más a detalle en el **ANEXO 5**.

### **3.2.4. Mejoras en inspecciones rutinarias.**

Las mejoras en inspecciones rutinarias están relacionadas con las establecidas en planificación, ya que las inspecciones rutinarias deben realizar los trabajadores que también a la cuadrilla operativa. Cada posición tiene su rutina de inspección diaria, semanal, previo inicio de operaciones, etc.

### **3.2.5. Mantenimientos de los equipos**

Para incrementar un control y mejorar la trazabilidad de los mantenimientos, se añade de manera obligatoria la clasificación de los reportes de mantenimiento

con registro fotográfico. Todos los mantenimientos reportados deberán ser clasificados en preventivos, correctivos, modificación de equipos, otros, etc. Todos los mantenimientos alimentarán un registro de mantenimientos del taladro.

### 3.2.6. Control de los mantenimientos

Para mejorar el control de los mantenimientos se utiliza como herramienta el software SIMEF indicado en el punto 1.7. En este software se cambia el enfoque de los reportes en los siguientes puntos.

- Los reportes rutinarios cambian el enfoque de sistemas y equipos a responsable y frecuencia. Estos reportes son check lists para que los llenen trabajadores de las cuadrillas de operación y mantenimiento, siendo responsabilidad de cada posición realizar sus reportes asignados. La clasificación de reportes rutinarios se observa en la *Tabla 6*.

Tabla 6.

*Tabla de frecuencia y responsables de reportes*

Responsable	Frecuencia		
	Diaria	Semanal	Previo Operación
Mecánico	Si	Si	Si
Eléctrico	Si	Si	Si
Supervisor	No	No	Si
Perforador	Si	No	No
Encuellador	Si	Si	Si
Cuñeros	Si	Si	Si

- Reportes de mantenimiento de los equipos. Estos reportes deberán ser llenados a partir de mantenimientos mensuales o 500 horas de los equipos y consistirá en un reporte que identifique claramente: Ubicación del taladro, datos del equipo como modelo y número de serie, tiempo de la ejecución del mantenimiento, tipo de mantenimiento dado al equipo, repuestos y herramientas utilizadas, lista de trabajos realizados, registro fotográfico y registro de firmas. Este formato se observa en el **ANEXO 6**.

- Reportes de fallas de los equipos. Se implementa un formato de reporte de fallas de los equipos, el cual contiene la siguiente información: ubicación del taladro, datos del equipo, tiempo de para, descripción de los sucesos que llevaron a la falla, efectos y daños de los equipos, acciones remediales, análisis de causa efecto (Izhikawa), planes de acción de las causas encontradas con responsables y fechas de cierre, registro fotográfico de los eventos, observaciones y firmas. Este formato se encuentra en el **ANEXO 7**.
- Registros de Certificaciones de equipos. Las certificaciones de los equipos deberán ser controladas por un registro cuyo control será mensual. Este registro deberá obtener la información de la *Tabla 7*.

Tabla 7.

*Control de registro de certificaciones.*

Sistema	Equipo	Certificación	Trabajos	Frecuencia	Empresa	Fecha última inspección	Fecha próxima inspección
Nombre del sistema	Nombre del equipo	CAT III CAT IV	Actividad por realizar dentro de la certificación	6 meses 1 año 2 años 5 años 10 años	Empresa que realizó la última inspección	Fecha	Fecha + Frecuencia

- SIMEF. Tal como se señala en el punto 1.7, esta herramienta distribuirá y seleccionará los reportes a ser llenados por los trabajadores, los ordenará y guardará en una plataforma de base de datos de la empresa.

### 3.3. Proceso Luego de las Mejoras.

Luego de realizar las mejoras observadas en el punto 3.2, el proceso de mantenimiento debe ser modificado y quedará de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y el **ANEXO 3**.



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para analizar los resultados se tomaron los datos de los tiempos no productivos del taladro de perforación, descritos en el punto 2.1 durante el año 2018, los cuales se pueden observar en el **ANEXO 8**.

### 4.1. Comparación de Resultados Estadísticos Entre el Año 2017 y 2018.

#### 4.1.1. Resultados estadísticos obtenidos en el 2018.

Los datos estadísticos analizados son los mismos que los considerados en el punto 2.2.1, para así determinar los cambios positivos o negativos que se obtuvieron en el año 2018 con relación al año 2017. En el año 2018 el número de eventos se redujeron a 10, comparados con los 29 eventos del año 2017, por otro lado, los resultados estadísticos de los tiempos obtenidos en el año 2018 se muestran en la *Tabla 8*.

Tabla 8.

*Medidas de tendencia central y dispersión de los datos del año 2018.*

MEDIDA	TIEMPO	DINERO
Mínimo	0:30:00	\$ 600,00
Máximo	5:30:00	\$ 6.600,00
Promedio	1:54:00	\$ 2.280,00
Moda	1:30:00	\$ 1.800,00
Mediana	1:30:00	\$ 1.800,00
Desviación std	1:33:36	\$ 1.871,90
Rango	5:00:00	\$ 6.000,00
Total	19:00:00	\$ 22.800,00

#### 4.1.2. Comparación de resultados estadísticos entre el año 2017 y 2018.

Tomando los datos obtenidos en los puntos 2.2.1 para el año 2017 y en el punto 4.1.1 para el año 2018, se puede observar en la *Tabla 9* y *Tabla 10* los cambios estadísticos en tiempo y dinero perdido por NPTs entre los años 2017 y 2018, respectivamente.

Tabla 9.

*Comparación de los resultados estadísticos de los tiempos de NPTs del año 2017 y año 2018.*

MEDIDA	UNIDAD	Año 2017	Año 2018	% CAMBIO
Eventos	#	29	10	- 65,5%
NPT Mínimo	Tiempo	0:30:00	0:30:00	0%
NPT Máximo	Tiempo	20:00:00	5:30:00	- 72,5%
NPT Promedio	Tiempo	1:55:52	1:54:00	-1,6%
NPT Moda	Tiempo	0:30:00	1:30:00	200,0%
NPT Mediana	Tiempo	1:00:00	1:30:00	50,0%
NPT Desviación std	Tiempo	3:42:53	1:33:36	-58,0%
Rango	Tiempo	19:30:00	5:00:00	-74,4%
Total	Tiempo	56:00:00	19:00:00	- 66,1%

Tabla 10.

*Comparación de los resultados estadísticos del dinero perdido por NPTs del año 2017 y año 2018.*

MEDIDA	UNIDAD	Año 2017	Año 2018	% CAMBIO
Eventos	#	29	10	- 65,5%
NPT Mínimo	\$	600,00	600,00	0%
NPT Máximo	\$	24.000,00	6.600,00	- 72,5%
NPT Promedio	\$	2.317,24	2.280,00	-1,6%
NPT Moda	\$	600,00	1.800,00	200,0%
NPT Mediana	\$	1.200,00	1.800,00	50,0%
NPT Desviación std	\$	4.457,58	1.871,90	-58,0%
Rango	\$	23.400,00	6.000,00	-74,4%
Total	\$	67.200,00	22.800,00	- 66,1%

### **Análisis de resultados**

- El número de eventos con NPTs se redujo de 29 en el año 2017 a 10 en el año 2018, lo cual es una reducción del 65,5%.
- Se redujo en un 66,1% el total de tiempo y dinero perdido entre los años 2017 y 2018, lo que significa 37 horas menos de NPTs y \$ 44.400,00 menos de pérdida.

- El tiempo mínimo de NPT se mantiene en 30 minutos, sin embargo, el tiempo máximo de un evento con NPT se redujo de 20 horas a 5 horas y treinta minutos.
- El promedio no varía considerablemente, sin embargo, se observa mucha más concordancia entre las medidas de tendencia central (media, mediana y moda).
- La desviación estándar se redujo considerablemente, lo cual se complementa con los resultados obtenidos en las medidas de tendencia central, la reducción del rango y el sesgo de los datos.

#### 4.2. Comparación de los Resultados de Número de Eventos con NPTs y Pérdida de Dinero por Sistemas y Equipos Entre el Año 2017 y 2018.

##### 4.2.1. Número de eventos con NPT y pérdida de dinero en los Sistemas y equipos del año 2018.

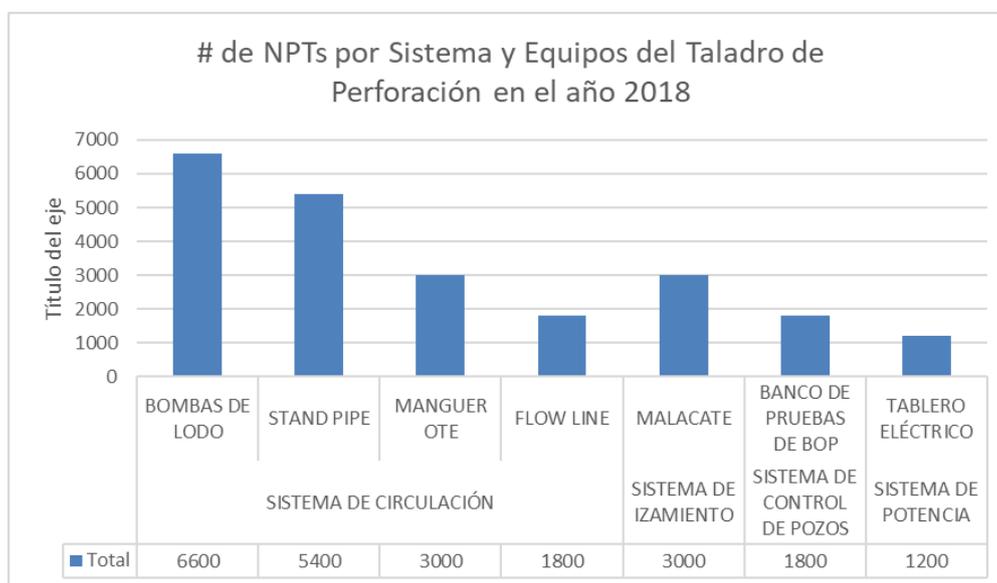
Tal como se realiza el análisis en el punto 2.2.2, y revisando el **ANEXO 8**. Se puede observar que hubo 10 eventos con NPTs desde enero a finales del mes de octubre del año 2018, de los cuales se distribuyeron por sistema y equipos de acuerdo con la *Tabla 11* y *Figura 34*.

Tabla 11.

*Número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2018.*

SISTEMA	CUENTA DE NPT	EQUIPOS	CUENTA DE NPT
SISTEMA DE CIRCULACIÓN	5	STAND PIPE	2
		BOMBAS DE LODO	1
		MANGUEROTE	1
		FLOW LINE	1
SISTEMA DE IZAMIENTO	3	MALACATE	3
SISTEMA DE	1	TABLERO ELÉCTRICO	1

<b>POTENCIA</b>			
<b>SISTEMA DE CONTROL DE POZOS</b>	<b>1</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS DE BOP</b>	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>TOTAL</b>	<b>10</b>



*Figura 34. Gráfica de número de eventos con NPT por Sistema y Equipos del Taladro de Perforación en el año 2018.*

Sin embargo, de la misma manera que en el punto 2.2.2, el número de eventos con NPT debe complementarse con la cantidad de dinero que se pierde por sistema y equipos. En el año 2018 se perdió un total de \$22.800,00 los cuales se distribuyeron por sistema y equipos de acuerdo con la *Tabla 12* y *Figura 35*.

*Tabla 12.*

*Pérdida de dinero por NPTs por Sistema y Equipo del Taladro de Perforación en el año 2018.*

<b>SISTEMA</b>	<b>PÉRDIDA DE DINERO POR NPT</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>PÉRDIDA DE DINERO POR NPT</b>
<b>SISTEMA DE CIRCULACIÓN</b>	<b>\$16.800,00</b>	<i>BOMBAS DE LODO</i>	<i>\$6.600,00</i>
		<i>STAND PIPE</i>	<i>\$5.400,00</i>
		<i>MANGUEROTE</i>	<i>\$3.000,00</i>
		<i>FLOW LINE</i>	<i>\$1.800,00</i>

<b>SISTEMA DE IZAMIENTO</b>	<b>\$3.000,00</b>	<b>MALACATE</b>	<b>\$3.000,00</b>
<b>SISTEMA DE CONTROL DE POZOS</b>	<b>\$1.800,00</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS DEL BOP</b>	<b>\$1.800,00</b>
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>	<b>\$1.200,00</b>	<b>GENERADORES</b>	<b>\$1.200,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$22.800,00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$22.800,00</b>

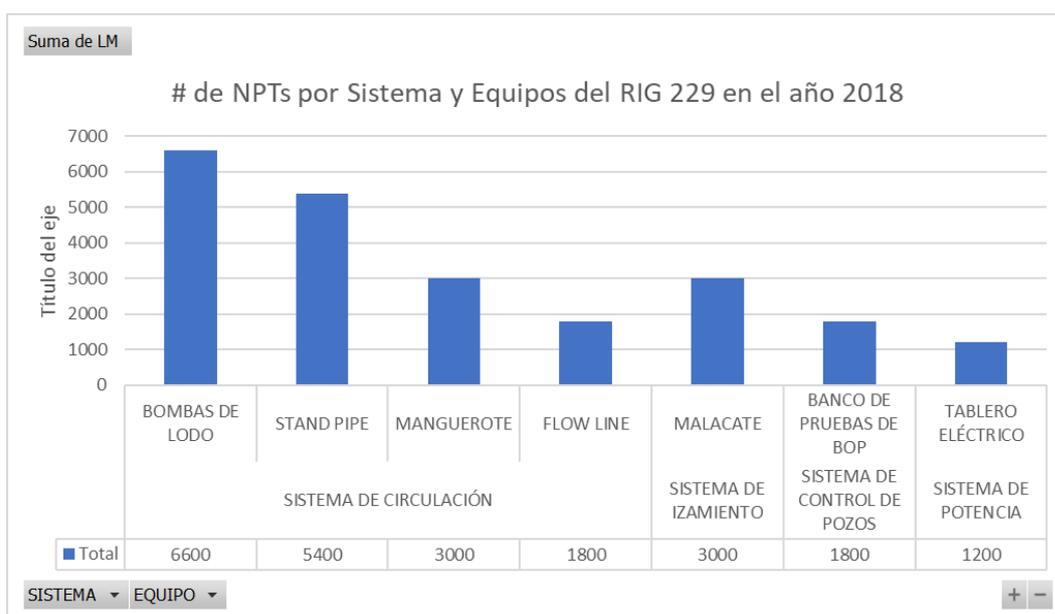


Figura 35. Gráfica de Dinero perdido por NPTs por Sistema del Taladro de Perforación en el año 2018.

#### 4.2.2. Comparación de resultados de número de eventos y dinero perdido entre el año 2017 y 2018.

En este punto se analizará los resultados obtenidos entre los puntos 2.2.2 del año 2017 y 4.2.1 del año 2018 en relación con el número de eventos y pérdida de dinero por NPTs.

*El análisis del número de eventos con NPTs, se los realizará principalmente por sistemas, el cual se lo puede observar en la Tabla 13 y Figura 36.*

Tabla 13.

*Comparación de número de eventos de NPT en los sistemas entre el año 2017 y 2018*

<b>SISTEMA</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>% DE CAMBIO</b>
<b>SISTEMA DE CIRCULACIÓN</b>	9	5	- 44,4%
<b>SISTEMA DE IZAMIENTO</b>	6	3	- 50,0%
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>	6	1	- 83,3%
<b>SISTEMA DE CONTROL DE POZOS</b>	5	1	- 80,0%
<b>MISCELÁNEOS</b>	1	0	- 100,0%
<b>SISTEMA DE TORQUE</b>	1	0	- 100,0%
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>- 65,5%</b>

*Como se puede observar en la*

*Tabla 13 y la Figura 36, existe una reducción en la frecuencia de fallas de todos los sistemas.*

- En el sistema de circulación se redujo de 9 eventos en el año 2017 a 5 eventos en el año 2018.
- En el sistema de izamiento se redujo de 6 eventos en el año 2017 a 3 eventos en el año 2018.
- En el sistema de potencia se redujo de 6 eventos en el año 2017 a 1 evento en el año 2018.
- En el sistema de control de pozos se redujo de 5 eventos en el año 2017 a 1 evento en el año 2018.
- En el sistema de torque se redujo de 1 evento en el año 2017 a 0.
- En misceláneos de igual manera se redujo de 1 en el 2017 a 0.

Por otro lado también, al igual que en el punto 2.2.2, se debe también comparar la cantidad de dinero que se pierde por estos tiempos no productivos, lo cual indica los resultados de la *Tabla 14* y la *Figura 37*.

Tabla 14.

*Comparación de dinero perdido por eventos de NPT en los sistemas entre el año 2017 y 2018.*

SISTEMA	2017	2018	% DE CAMBIO
<b>SISTEMA DE CIRCULACIÓN</b>	\$ 16.200,00	\$ 16.800,00	+ 3,7%
<b>SISTEMA DE IZAMIENTO</b>	\$ 12.600,00	\$ 3.000,00	- 76,2%
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>	\$ 5.400,00	\$ 1.200,00	- 77,7%
<b>SISTEMA DE CONTROL DE POZOS</b>	\$ 30.000,00	\$ 1.800,00	- 94,0%
<b>MISCELÁNEOS</b>	\$ 1.800,00	\$ 0,00	- 100,0%
<b>SISTEMA DE TORQUE</b>	\$ 1.200,00	\$ 0,00	- 100,0%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 67.200,00</b>	<b>\$ 22.800,00</b>	<b>- 66,1%</b>

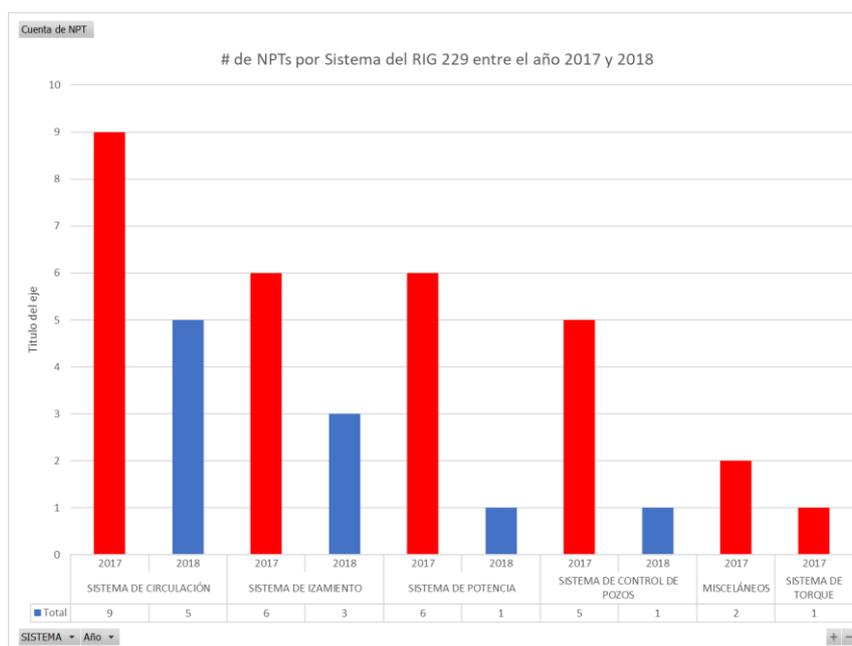


Figura 36. *Gráfica de comparación de número de eventos con NPTs en los sistemas entre el año 2017 y 2018.*

De esta manera se puede observar que de acuerdo con la *Tabla 14* y la *Figura 37*, no se cumple lo mismo que la frecuencia, lo cual se acota de mejor manera en los siguientes puntos:

- En el sistema de circulación a pesar de existir menos eventos con NPTs, de acuerdo con la
- Tabla 13, estos han sido más severos; ya que han causado mayor tiempo perdido y por ende mayor pérdida de dinero, este incremento es del 3,7% que corresponde a \$ 600,00.
- En el sistema de izamiento se observa una reducción de \$ 9.600,00 dólares de pérdida, lo que significa el 76,2% menos que el año 2017.
- En el sistema de potencia se observa una reducción del 77,7% con relación al año 2017 que corresponde a \$ 4.200,00 menos de pérdida.
- El sistema de control de pozos es el de mayor impacto, ya que se redujo la pérdida en \$ 28.200,00 que es el 94,0%.
- Finalmente, en el sistema de torque y misceláneos al no haber NPTs, la pérdida se redujo en un 100,0%.

Analizando un poco más a fondo el caso de la pérdida de dinero en el sistema de circulación, se puede observar la comparación descrita en la *Tabla 15* y la *Figura 38*.

Tabla 15.

*Comparación de dinero perdido en el Sistema de Circulación entre el año 2017 y 2018.*

SISTEMA	EQUIPO	2017	2018	% DE CAMBIO
SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	\$ 9.600,00	\$ 6.600,00	- 31,3%
	FLOW LINE	\$ 5.400,00	\$ 1.800,00	- 66,7%
	STAND PIPE	\$ 1.200,00	\$ 5.400,00	+ 350,0%
	MANGUEROTE	\$ 0,00	\$ 3.000,00	+ 100,0%
TOTAL		\$ 16.200,00	\$ 16.800,00	+ 3,7%

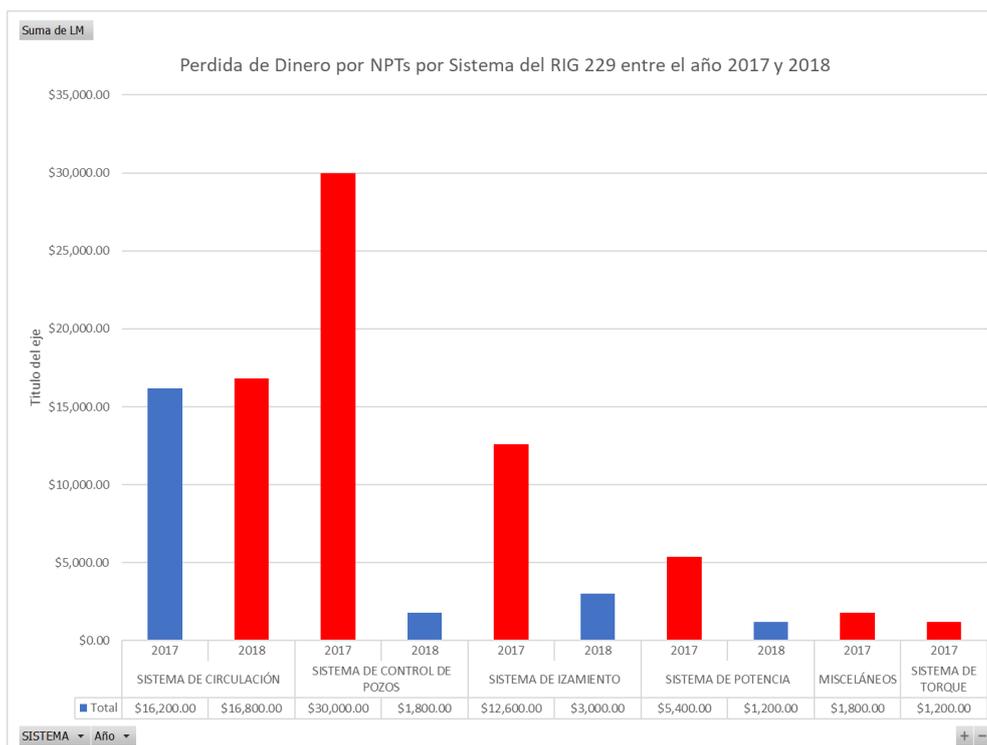


Figura 37. Gráfica de comparación de dinero perdido por eventos con NPTs en los sistemas entre el año 2017 y 2018.

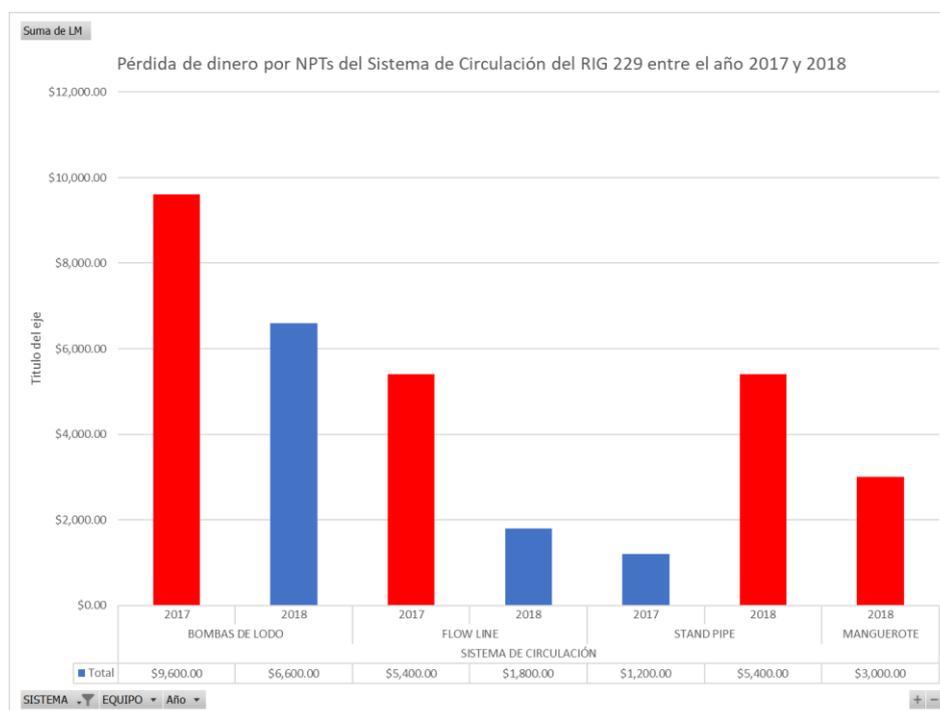


Figura 38. Gráfica de comparación de dinero perdido en el Sistema de Circulación entre el año 2017 y 2018.

Como se puede observar en la Tabla 15 y la Figura 38, se tiene un incremento de pérdida de dinero por tiempos no productivos en el stand pipe y el manguerote, es decir en las líneas y mangueras de alta presión. Las bombas de lodo que son los equipos principales de este sistema han reducido su tiempo no productivo y por ende la pérdida de dinero relacionado a este.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Como se pudo observar en el capítulo 3, al planificar y ejecutar varias mejoras en el Proceso de Mantenimiento de la empresa para el taladro de perforación, se observa una reducción del 66,1% de los tiempos no productivos, lo cual genera una reducción de \$ 44.400,00 en pérdidas.

Al revisar las estadísticas de los tiempos no productivos en el año 2017 en el punto 2.2.1, se identificó que existía una alta frecuencia y severidad de los eventos con NPTs, lo cual genera una alta variabilidad de los datos y baja calidad del servicio.

Las mejoras planteadas en el Proceso de Mantenimiento, ayudaron a reducir la frecuencia y la severidad de los eventos con NPTs, haciéndolos más estables en el año 2018 en comparación al año 2017, tal como se observó en los capítulos 4.1.2 y 4.2.2

Al implementar un procedimiento y formato de análisis de causa raíz, como se muestra en el capítulo 3.2.6 y el **ANEXO 7**, se logra detectar los principales factores que llevan a una falla del equipo y así programar un mantenimiento de los equipos, previo a que estos fallen.

Como se puede observar en la *Tabla 14* y *Tabla 15* del capítulo 4.2, a pesar de que globalmente se redujo en un 66,1% el tiempo perdido y pérdida de dinero, en el Sistema de Circulación se incrementó estos valores en un 3,7%, debido a fallas de la línea del stand pipe y manguerote.

El uso del software SIMEF para automatizar el proceso de reportes y traslado de información es de gran ayuda para dar seguimiento y control de los trabajos de inspección y mantenimiento dados en los equipos del taladro de perforación.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda replicar las mejoras del Proceso de Mantenimiento plasmadas en el presente proyecto a todos los taladros de perforación y reacondicionamiento de la empresa y analizar de igual manera si tienen el mismo impacto positivo que el obtenido para este taladro.

A pesar de que el uso del software SIMEF ha dado buenos resultados para el seguimiento y control de las inspecciones y mantenimientos realizados en los equipos, se recomienda contratar o comprar un software especializado para la gestión de mantenimiento que incluya el manejo de inventarios y alarmas de mantenimientos automatizadas.

Se recomienda realizar un seguimiento continuo para que se ejecute el análisis de causa raíz de las fallas de los equipos para así prevenir fallas futuras de estos por situaciones similares.

Se recomienda realizar procesos de auditorías para verificar que las inspecciones y mantenimientos se estén realizando de acuerdo con lo establecido en el manual y matriz de mantenimiento.

Se recomienda realizar una revisión total del manual y matriz de mantenimiento, para garantizar que las responsabilidades y actividades detalladas en el manual estén acorde a lo establecido en la matriz.

Al observar el incremento del dinero perdido por el Sistema de Circulación, se recomienda revisar el procedimiento de inspección, mantenimiento y pruebas de las líneas y mangueras de alta presión de la empresa. Con el fin de prevenir este tipo de fallas y generar NPTs predecibles.

## REFERENCIAS

- API RP 4F (2012). *Operation, Inspection, Maintenance, and Repair of Drilling and Well Servicing Structures.*
- API RP 7L (1995). *Procedures for Inspection, Maintenance, Repair, and Remanufacture of Drilling Equipment.*
- API RP 8B (2014). *Procedures for Inspections, Maintenance, Repair, and Remanufacture of Hoisting Equipment*
- API Std. 53 (2012). *Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells*
- Araujo, A. (2016). Los Taladros de Perforación bajaron de 30 a 8 en un año. El Comercio. Recuperado el 19 de noviembre de 2108 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/taladros-operacion-baja-petroleo-ecuador.html>
- Baoji Oilfield Machinery Co., Ltd. (2007). *ZJ70/4500D Drilling Rig Operation Manual.*
- Baoji Oilfield Machinery Co., Ltd. (2007). *ZJ70/4500D Drilling Rig Maintenance Manual.*
- Bommer, P. (2008). *A primer of Oilwell Drilling.* 7th ed. Texas: PETEX.
- Cuatrecasas, LI. (2012). Organización de la producción y dirección de operaciones. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. Recuperado el 15 de diciembre del 2018 de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/udlasp/reader.action?docID=3220133&query=organizaci%C3%B3n+de+la+producci%C3%B3n>

Rotary Drilling Hose. (2018). Foto de Manguerote. Recuperado el 5 de octubre del 2018 de <http://www.rotarydrillinghose.com/rotary-vibrator-5000psi-grade-d/Rotary-Vibrator-Hose-5000PSI-G.html>

Kat Industries Machine Inc. (2011). Foto de Chikson Flow Line. Recuperado el 20 de octubre del 2018 de <http://www.katmachine.com/rig-skidding-systems.html>

Martínez, C. (2012). Estadística básica aplicada. Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda. Recuperado el 4 de noviembre del 2018 de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/udlasp/reader.action?docID=3203901&query=estad%C3%ADstica+aplicada>

Navarro, L., Pator, A., Magaburu, J. (1997). Gestión Integral del Mantenimiento. Barcelona, España, Editorial: MARCOMBO. Recuperado el 13 de noviembre del 2018 de <https://ebookcentral-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=3185475&query=mantenimiento>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Tabla de registro de NPTs de las operaciones del taladro de perforación entre enero – diciembre del 2017.

NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN - 2017										
No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
1	31-1-17 18:00	31-1-17 18:30	0:30:00	600.00	CNCF 064	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	AL INICIAR PERFORACIÓN DE 26", FALLA EN CONEXIÓN DE MANGUERA DEL FRENO DEL MALACATE	FALTA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ELEMENTO	NINGUNA
2	31-1-17 18:30	31-1-17 19:30	1:00:00	1,200.00	CNCF 064	SISTEMA DE POTENCIA	CABINA DE CONTROL	AL INICIAR PERFORACIÓN DE 26", FALLA SENSOR DE SHUT DOWN DE LA CABINA DE CONTROL	ELEMENTO ELECTRÓNICO LLEGA AL FIN DE SU VIDA ÚTIL	NINGUNA
3	1-2-17 12:00	1-2-17 12:30	0:30:00	600.00	CNCF 064	SISTEMA DE IZAMIENTO	WINCHE DE CASING	DURANTE CORRIDA DE CASING DE 20", WINCHE DE TRABAJADERO DE CASING NO FUNCIONA	FALTA DE MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DEL EQUIPO	NINGUNA
4	4-2-17 7:00	4-2-17 8:00	1:00:00	1,200.00	CNCF 064	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	STAND PIPE	AL INICIAR PERFORACIÓN DE 16", SE DETECTA FUGA POR SELLO EN EL STAND PIPE.	FALTA DE CAMBIO OPORTUNO DE SELLOS	NINGUNA
5	9-2-17 7:00	9-2-17 13:30	6:30:00	7,800.00	CNCF 064	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", FALLA EN EL MONTAJE DEL CABLE DE PERFORACIÓN DEL MALACATE	FALTA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MONTAJE DEL MALACATE.	SE TUVO QUE CORTAR APROXIMADAMENTE 300 FT DE CABLE.
6	18-3-17 7:00	18-3-17 7:30	0:30:00	600.00	ACAD 151	MISCELÁNEOS	MONTACARGAS	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 26", FALLA EL MONTACARGAS	NO SE DETECTÓ LIQUEO EN SISTEMA HIDRÁULICO	NINGUNA
7	19-3-17 7:00	19-3-17 8:00	1:00:00	1,200.00	ACAD 151	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	FLOW LINE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 26", SE OBSERVA MAL MONTAJE DE FLOW LINE	FALTA DE INSPECCIÓN DEL MONTAJE DEL EQUIPO PREVIO INICIO DE OPERACIONES	NINGUNA

**NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN 2017**

No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
8	23-3-17 7:00	23-3-17 8:00	1:00:00	1,200.00	ACAD 151	SISTEMA DE IZAMIENTO	WINCHE DE CASING	DURANTE CORRIDA DE CASING DE 20", WINCHE DE TRABAJADERO DE CASING NO FUNCIONA	MAL MANTENIMIENTO PREVIO DEL EQUIPO EN EL POZO CNCF 064	NINGUNA
9	26-3-17 3:00	26-3-17 23:00	20:00:00	24,000.0 0	ACAD 151	SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	VÁLVULA HCR	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 12 1/4", FALLA VÁLVULA HCR DEL BOP	VÁLVULA NO FUNCIONA POR FALTA DE INSPECCIÓN PREVIA A INICIO DE OPERACIONES	LA FALLA DE LA VÁLVULA OCACIONA ACCIDENTE IMPORTANTE DEL MECÁNICO DEL TALADRO
10	5-4-17 16:00	5-4-17 18:00	2:00:00	2,400.00	ACAD 151	SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	SUPER CHOQUE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", VÁLVULA DE SUPER CHOQUE NO SE ACTIVA	VÁLVULA NO FUNCIONA POR FALTA DE INSPECCIÓN PREVIO A INICIO DE OPERACIONES	NINGUNA
11	5-4-17 18:00	5-4-17 18:30	0:30:00	600.00	ACAD 169	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 16", FALLAN CONSUMIBLES DE LAS BOMBAS DE LODO 1 Y 3	POSIBLE SOBRECARGA DE LAS BOMBAS DE LODO O ELEMENTOS DE MALA CALIDAD	ESTAR PENDIENTES DE CAMBIOS PREMATUROS DE ELEMENTOS DE LAS BOMBAS DE LODO
12	26-4-17 16:00	26-4-17 17:30	1:30:00	1,800.00	ACAD 169	SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	BANCO DE PRUEBAS DE BOP	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 12 1/4", BANCO DE PRUEBAS DE BOP NO ALCANZA LA PRESIÓN DE TRABAJO	LÍNEAS NEUMÁTICAS DEL EQUIPO TAPADAS CON AGUA.	NINGUNA
13	26-5-17 15:30	26-5-17 16:30	1:00:00	1,200.00	ACAM 147	SISTEMA DE TORQUE	LLAVE HIDRÁULICA ST- 80	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 26", LA LLAVE HIDRÁULICA NO FUNIONA POR LIQUEO HIDRÁULICO DE LAS LÍNEAS	FALTA DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS DEL EQUIPO PREVIO A INICIAR OPERACIONES	NINGUNA

**NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN - 2017**

No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
14	29-5-17 11:30	29-5-17 12:30	1:00:00	1,200.00	ACAM 147	SISTEMA DE IZAMIENTO	CABLES DE IZAJE DE BOP	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 12 1/4, SE ENCUESTRAN CALBLES DEL SISTEMA DE IZAJE MAL MONTADOS.	MAL MONTAJE DE LOS EQUIPOS	NINGUNA
15	31-5-17 2:00	31-5-17 3:00	1:00:00	1,200.00	ACAM 147	SISTEMA DE POTENCIA	GENERADORES	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 26", LOS GENERADORES SE APAGAN POR FALLA EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	FALTA DE PRUEBAS PREVIO INICIO DE OPERACIONES	NINGUNA
16	3-6-17 6:00	3-6-17 7:00	1:00:00	1,200.00	ACAM 147	SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	BANCO DE PRUEBAS DE BOP	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 12 1/4", BANCO DE PRUEBAS DE BOP NO LIBERA HERRAMIENTAS A MONTAR	SOBRETORQUE DE HERRAMIENTAS DEL BOP	NINGUNA
17	27-6-17 17:30	27-6-17 19:00	1:30:00	1,800.00	ACAM 148	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 16", FALLAN CONSUMIBLES DE LAS BOMBAS DE LODO 1 Y 2	SOBRECARGA DE LAS BOMBAS DE LODO, PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO SOBRE EL 90% DE CAPACIDAD	SEGUIR PENDIENTES DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS DE LODO.
18	4-7-17 11:00	4-7-17 15:30	4:30:00	5,400.00	ACAM 148	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", FALLAN CONSUMIBLES DE LAS BOMBAS DE LODO 2 Y 3	SOBRECARGA DE LAS BOMBAS DE LODO, PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO SOBRE EL 90% DE CAPACIDAD	EMITIR ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS DE LODO A CLIENTE
19	17-7-17 8:00	17-7-17 8:30	0:30:00	600.00	ACAM 148	MISCELÁNEOS	SUPER CHOQUE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 8 1/2", FALLA MANÓMETRO DE SUPER CHOQUE	ELEMENTO SIN CERTIFICACION DE CALIBRACIÓN VIGENTE	CERTIFICAR TODOS LA INSTRUMENTACIÓN DEL TALADRO

**NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN - 2017**

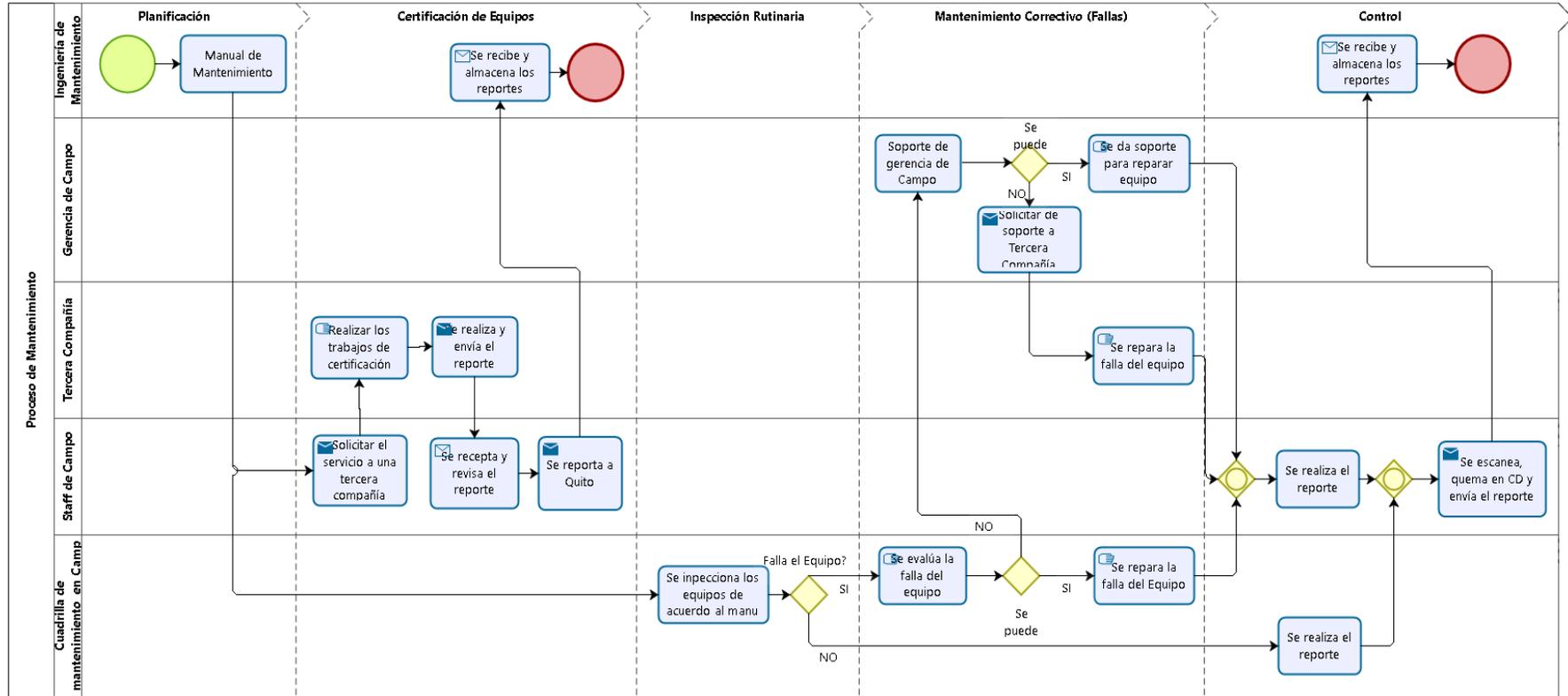
No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
20	17-7-17 21:30	17-7-17 22:30	1:00:00	1,200.00	ACAM 148	MISCELÁNEOS	SHOOTING NIPLE	DURANTE LA COMPLETACIÓN DEL POZO, SE OBSERVA LIQUE EN EL SHOOTING NIPLE	MAL MONTAJE DE SHOOTING NIPLE	NINGUNA
21	30-8-17 17:00	30-8-17 17:30	0:30:00	600.00	ACAM 150	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", FALLAN CONSUMIBLES DE LAS BOMBAS DE LODO 2 Y 3	SOBRECARGA DE LAS BOMBAS DE LODO, PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO SOBRE EL 90% DE CAPACIDAD	SOLICITAR A CLIENTE REUNIÓN PARA ANALIZAR PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS DE LODO
22	2-9-17 13:00	2-9-17 13:30	0:30:00	600.00	ACAM 150	SISTEMA DE POTENCIA	GENERADORES	DURANTE PERFORACIÓN DE 8 1/2", SE OBSERVA APAGÓN DE LOS GENERADORES	GENERADORES CON FILTROS DE COMBUSTIBLE TAPADOS	NINGUNA
23	23-10-17 19:00	24-10-17 4:00	9:00:00	10,800.00	YCAC 048	SISTEMA DE IZAMIENTO	GATO DE IZAMIENTO DE TDS	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 26", NO FUNCIONAN GATOS DE MONTAJE DE RIELES DE TDS	FUGA HIDRÁULICA EN GATOS DE POSICIONAMIENTO DE TDS	NINGUNA
24	1-11-17 1:00	1-11-17 2:00	1:00:00	1,200.00	YCAC 048	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", FALLAN CONSUMIBLES DE LAS BOMBAS DE LODO 2 Y 3	SOBRECARGA DE LAS BOMBAS DE LODO, PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO SOBRE EL 90% DE CAPACIDAD	ENVIAR CARTA POR PARTE DEL GERENTE AL CLIENTE SOLICITANDO LA DISMINUCIÓN DE PARÁMETROS DE BOMBAS DE LODO
25	1-11-17 13:30	1-11-17 14:00	0:30:00	600.00	YCAC 048	SISTEMA DE POTENCIA	CASA SCR	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE SOBRECALIENTA Y APAGA CASA DE DISTRIBUCIÓN SCR	SE SOBRECALIENTA LA CASA DE DISTRIBUCIÓN POR SOBRECARGA EN BOMBAS DE LODO	ENVIAR CARTA POR PARTE DEL GERENTE AL CLIENTE SOLICITANDO LA DISMINUCIÓN DE PARÁMETROS DE BOMBAS DE LODO

**NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN - 2017**

No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
26	1-11-17 14:30	1-11-17 15:30	1:00:00	1,200.00	YCAC 048	SISTEMA DE POTENCIA	CASA SCR	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE SOBRECALIENTA Y APAGA CASA DE DISTRIBUCIÓN SCR	SE SOBRECALIENTA LA CASA DE DISTRIBUCIÓN POR SOBRECARGA EN BOMBAS DE LODO	ENVIAR CARTA POR PARTE DEL GERENTE AL CLIENTE SOLICITANDO LA DISMINUCIÓN DE PARÁMETROS DE BOMBAS DE LODO
27	24-11- 17 14:30	24-11-17 15:00	0:30:00	600.00	YCAC 038	SISTEMA DE POTENCIA	GENERADORES	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE APAGA GENERADOR PEQUEÑO QUE ABASTECE A ZARANDAS	TAPONAMIENTO DE FILTROS DE COMBUSTIBLE	NINGUNA
28	1-12-17 2:00	1-12-17 3:00	1:00:00	1,200.00	YCAC 038	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 8 1/2", SE SOBRECARGA EL MALACATE Y SE DA UN APAGÓN DEL SISTEMA GENERAL	EL OPERADOR NO CONTROLÓ LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MALACATE	NINGUNA
29	11-12- 17 11:00	11-12-17 11:30	0:30:00	600.00	YCAC 041	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	FLOW LINE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 26", SE OBSERVA ABUNDANTE PRESENCIA DE ARCILLA EN EL FLOWLINE	EQUIPO NO TIENE LA CAPACIDAD PARA MANEJAR LAS CANTIDADES DE ARCILLA OBSERVADA	EVALUAR CON EL CLIENTE LA POSIBILIDAD DE MODIFICAR EL EQUIPO O EL LODO DE PERFORACIÓN

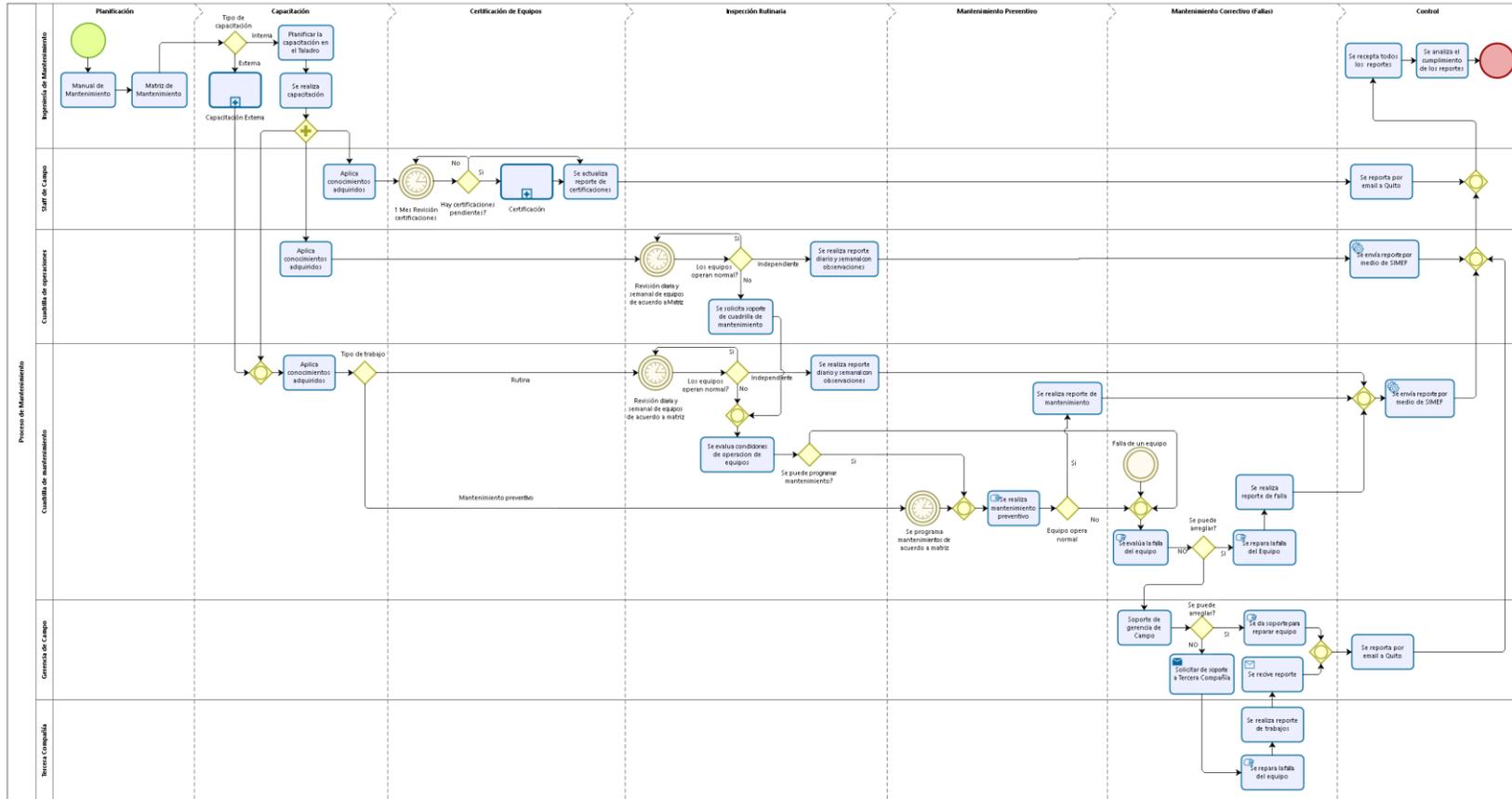
# ANEXO 2

## Proceso de mantenimiento previo a mejoras



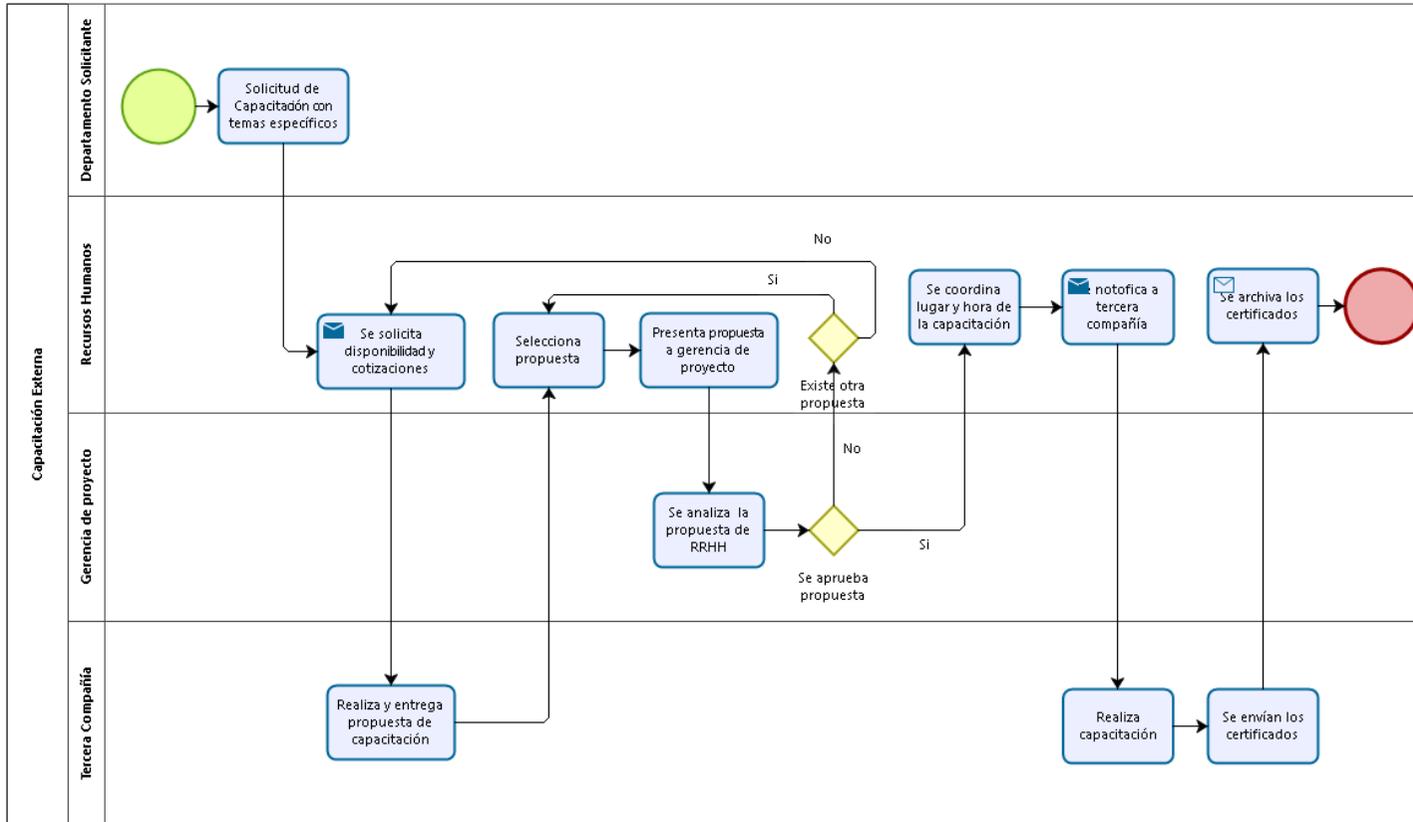
# ANEXO 3

## Proceso de mantenimiento luego de mejoras



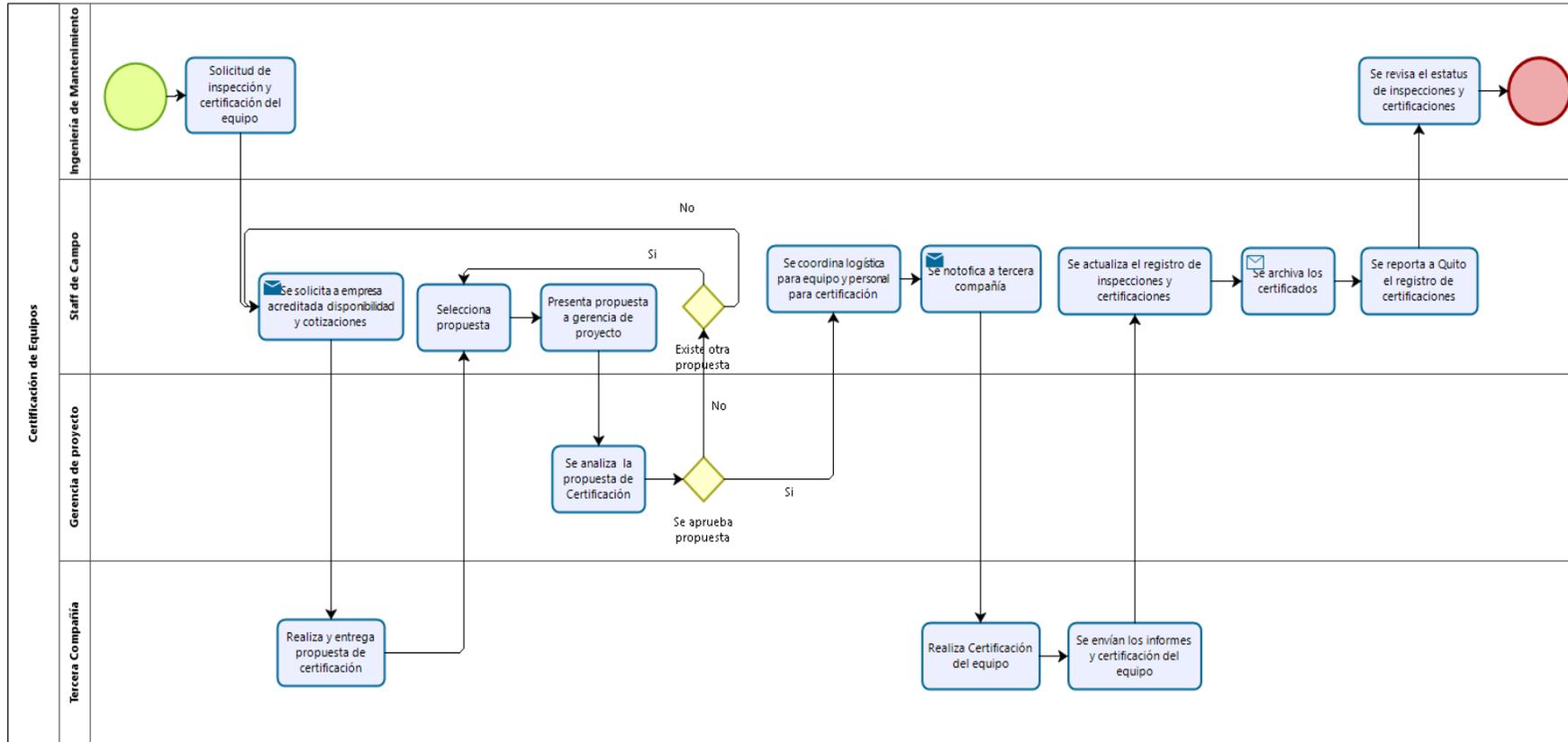
# ANEXO 4

## Proceso de capacitación del personal



# ANEXO 5

## Proceso de certificación de equipos



**ANEXO 6**

Formato de reporte trabajos realizados en los equipos.

LOGO	SIPERFO			DEPARTAMENTO DE OPERACIONES		
				CÓDIGO: OPR-F-OPR#		
	REPORTE DE TRABAJOS REALIZADOS EN EQUIPOS (RTR)			Aprobado: 10/01/2018		
			Versión: 3.0			
<b>DATOS</b>						
Operadora		Plataforma		Pozo		Rig
Equipo		Marca		Modelo		No. De Serie
Horas Acumuladas		Fecha:		Reporte No.		
NPT:			Tiempo			
Si				Hora inicio		
No				Hora final		
Trabajo a Realizar						
Mantenimiento		Reparación		Modificación		Otros (Especifique)
HT						
Frec.						
<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>						
Descripción de situación inicial:						
Materiales y Herramientas Usadas						
1			6			
2			7			
3			8			
4			9			
5			10			
Descripción de trabajos realizados:						
1			8			
2			9			
3			10			
4			11			
5			12			
6			13			
7			14			
Descripción de situación final:						
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>						
Realizado por:				Firma:		
Posición:				Firma:		
Revisado por:				Firma:		
Posición:				Firma:		
Aprobado por:				Firma:		
Rig Manager:				Firma:		

## ANEXO 7

Formato de reporte de fallas y eventos con NPT

LOGO	SIPERFO		DEPARTAMENTO DE OPERACIONES			
			Código: OPR-F-OPR#			
	REPORTE DE FALLAS DE EQUIPOS Y EVENTOS CON NPT		Aprobado: 01/01/2018			
			Versión: 1.0			
INFORMACIÓN						
Operadora	Plataforma	Pozo	Rig			
Fecha	Sistema	Equipo	Tarifa Diaria			
DESCRIPCIÓN DEL EVENTO			TIEMPO PERDIDO			
			DESDE			
			HASTA			
			TOTAL			
			NPT			
			SI		NO	
			OPERACIONES AL MOMENTO DEL EVENTO			
TIPO DE FALLA						
EFECTOS Y DAÑOS EN LOS EQUIPOS						
PRINCIPAL						
SECUNDARIOS						
ACCIONES REMEDIALES Y RESULTADOS INMEDIATOS						
No.	DESCRIPCIÓN DE ACCIÓN REMEDIAL	RESULTADOS OBTENIDOS				
CAUSAS RAÍZ						
FACTOR DE CAUSA	No.	DESCRIPCIÓN DE CAUSA				
MÁQUINAS / EQUIPOS						
MATERIA PRIMA / MATERIALES						
MÉTODOS / PROCEDIMIENTOS						
MANO DE OBRA / HUMANO						
INSPECCIONES / MEDICIONES						
AMBIENTE DE TRABAJO						



## ANEXO 8

Tabla de registro de NPTs de las operaciones del taladro de perforación entre enero – diciembre del 2018.

NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN 2017										
No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
1	23-1-18 15:00	23-1-18 16:30	1:30:00	1,800.00	ACAF 215	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	FLOW LINE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 26", SE OBSERVA ABUNDANTE PRESENCIA DE ARCILLA EN EL FLOWLINE	EQUIPO YA MODIFICADO NO TIENE LA CAPACIDAD PARA MANEJAR LAS CANTIDADES DE ARCILLA OBSERVADA	SOLICITAR AL CLIENTE LA EVALUACIÓN DEL FLUÍDO DE PERFORACIÓN
2	29-1-18 21:00	29-1-18 22:00	1:00:00	1,200.00	ACAF 215	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	STAND PIPE	DURANTE PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE DETECTA FUGA POR SELLO EN EL STAND PIPE.	FALTA DE CAMBIO OPORTUNO DE SELLOS	NINGUNA
3	19-2-18 13:30	19-2-18 14:00	0:30:00	600.00	ACAF 214	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	AL INICIAR PERFORACIÓN DE 12 1/4", MALACATE SE BLOQUEA POR FUGA EN SISTEMA NEUMPATICO	MANGUERA NEUMÁTICA ROTA POR FALTA DE INSPECCIÓN	NINGUNA
4	19-2-18 22:00	20-2-18 0:30	2:30:00	3,000.00	ACAF 214	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	MANGUEROTE	DURANTE CORRIDA DE CASING DE 13 3/8, SE OBSERVA DEFORMACIÓN DEL MANGUEROTE	MATERIAL DEL MANGUEROTE SE ENCUENTRA FATIGADO	NINGUNA
5	20-3-18 6:30	20-3-18 12:00	5:30:00	6,600.00	ACAF 213	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	BOMBAS DE LODO	DURANTE PERFORACIÓN DE 16", SE DETECTA FALTA DE PRESIÓN DE LA BOMBA 1	CAUCHO DE DAMPER SE ENCUESTRA ROTO	NINGUNA
6	30-4-18 11:30	30-4-18 13:00	1:30:00	1,800.00	ACAI 197	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	AL INICIAR LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", EL SUPERVISOR SOBRECARGA EL MALACATE POR LO QUE EL CABLE SE MONTA	FALTA DE INSPECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MALACATE	SE TUVO QUE CORTAR APROXIMADAMENT E 250 FT DE CABLE.

NPTs TALADRO DE PERFORACIÓN 2017										
No	FHi	FHf	NPT	LM	POZO	SISTEMA	EQUIPMENT	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES
7	23-5-18 14:30	23-5-18 15:00	0:30:00	600.00	ACAI 198	SISTEMA DE IZAMIENTO	MALACATE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE BLOQUEA EL MALACATE POR EXCESO DE PARÁMETROS	EL CLIENTE SOLICITÓ ELEVAR LOS PARÁMETROS DURANTE UN TIEMPO PROLONGADO	NINGUNA
8	1-6-18 18:00	1-6-18 19:00	1:00:00	1,200.00	ACAI 198	SISTEMA DE POTENCIA	TABLERO ELÉCTRICO	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE DAÑAN EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS	CORTO CIRCUITO EN TABLERO ELÉCTRICO POR MAL MONTAJE DE CABLES	NINGUNA
9	2-6-18 7:00	2-6-18 10:30	3:30:00	4,200.00	ACAI 198	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	STAND PIPE	DURANTE LA PERFORACIÓN DE 12 1/4", SE DETECTA FUGA POR SELLO DEL STAND PIPE	ELASTÓMEROS DE STAND PIPE CON DESGASTE PREMATURO	SE REEMPLAZA EL LOTE DE ELASTÓMEROS DE STAN PIPE EN BODEGA
10	4-7-18 20:00	4-7-18 21:30	1:30:00	1,800.00	ASCS 0021	SISTEMA DE CONTROL DE POZOS	BANCO DE PRUEBAS DE BOP	EN PREPARATIVOS DE PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 12 1/4", BANCO DE PRUEBAS DE BOP NO ALCANZA LA PRESIÓN DE TRABAJO	FUGA POR MANGUERA NEUMÁTICA DEL EQUIPO	NINGUNA

