



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Aplicación de una metodología de mejora  
continua al seguimiento operativo de la  
perforación de un pozo basado en un  
programa de confiabilidad operativa**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Petrolero**

**P R E S E N T A**

Victor Jalil Avalos Cabello

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Daniel Marure Valdéz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024**

## Contenido

Agradecimientos .....	8
Lista de figuras.....	9
Lista de tablas.....	11
Introducción .....	14
1.1. Prólogo.....	16
1.2. Objetivo .....	17
1.3. Justificación.....	18
1.4. Hipótesis.....	19
1.5. Metodología utilizada.....	20
1.6. Narrativa por capítulos.....	22
CAPÍTULO 1 .....	23
Programa de confiabilidad operativa (PCO) .....	23
1.1. Objetivo del programa de confiabilidad operativa .....	23
1.2. Líneas de acción del programa de confiabilidad operativa.....	25
1.2.1. Contención .....	25
1.2.2. Sistematización.....	26
1.3. Proceso de mejora continua del programa de confiabilidad operativa.....	30
1.3.1. Nivel 1. Evaluación del programa de confiabilidad actual.....	30
1.3.2. Nivel 2. Desarrollo del programa de confiabilidad .....	30
1.3.3. Nivel 3. Establecimiento de sistema de confiabilidad .....	30
1.3.4. Nivel 4. Implementación del sistema de confiabilidad .....	30
1.3.5. Nivel 5. Mejora Continua.....	31
1.4. Metas del programa de confiabilidad operativa.....	31
1.5. Metodologías y mejores prácticas de confiabilidad operativa.....	33
1.5.1. Costos del ciclo de vida de los activos.....	34
1.5.2. RAM (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).....	34

1.5.3.	Ingeniería de factores humanos.....	34
1.5.4.	Orden y limpieza.....	35
1.5.5.	Planeación de la producción.....	35
1.5.6.	Contexto operacional y ventanas operativas.....	35
1.5.7.	Funciones protectoras instrumentadas.....	36
1.5.8.	Planeación y programación del trabajo.....	36
1.5.9.	Administración de libranzas y reparaciones mayores.....	36
1.5.10.	Censo de equipo y taxonomía.....	36
1.5.11.	Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	37
1.5.12.	Inspección basada en riesgo.....	37
1.5.13.	Refaccionamiento centrado en confiabilidad.....	37
1.6.	Sistema del programa de confiabilidad operativa.....	38
1.6.1.	Diseño.....	38
1.6.2.	Equipo.....	39
1.6.3.	Humana.....	44
1.6.4.	Proceso.....	44

CAPÍTULO 2.....	48
Análisis de indicadores de cumplimiento de un caso de estudio en el campo BEK de confiabilidad operativa .....	48
1.1. Características del caso de estudio .....	48
1.1.1. Objetivo de la intervención.....	48
1.1.2. Columna geológica .....	49
1.1.3. Descripción estructural .....	51
1.2. Programa de intervención del pozo .....	51
1.2.1. Conceptos básicos .....	52
1.2.2. Programa operativo: Fluidos de perforación .....	58
1.2.3. Programa operativo : Barrenas por etapa .....	60
1.2.4. Programa operativo: Sartas de perforación.....	61
1.2.5. Programa operativo: Cementaciones aplicables al caso de estudio.....	67
1.2.6. Programa operativo: Programa direccional del pozo.....	72
1.2.7. Programa operativo: Actividades programadas durante la perforación del pozo ....	74
1.3. Ejecución del caso de estudio .....	79
1.3.1. Resumen de la ejecución del caso de estudio por etapas.....	81

CAPÍTULO 3.....	113
Diseño y propuesta de mejoras en el sistema de confiabilidad operativa .....	113
1.1. Beneficios de la mejora continua .....	113
1.2. Metodología de mejora continua aplicada al caso de estudio: Six sigma .....	115
1.2.1. Estructura del <i>Six Sigma</i> .....	116
1.2.2. Etapa 1 <i>Six sigma</i> : Definición .....	118
1.2.3. Etapa 2 <i>Six sigma</i> : Medición.....	119
1.2.4. Etapa 3 <i>Six sigma</i> : Analizar .....	119
1.2.5. Etapa 4 <i>Six sigma</i> : Mejorar .....	120
1.2.6. Etapa 5 <i>Six sigma</i> : Controlar .....	121

CAPÍTULO 4.....	122
Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa .....	122
1.1. Definir.....	122
1.1.1. Alcance.....	123
1.1.2. Estado actual.....	123
1.1.3. Objetivo .....	124
1.1.4. Equipo de trabajo.....	125
1.2. Medir .....	126
1.2.1. Mapeo de actividades.....	126
1.2.2. Recopilación de datos.....	135
1.3. Analizar .....	138
1.3.1. Información NPT's .....	138
1.3.2. Información Actividades no programadas .....	139
1.3.3. Información reducción de tiempos .....	139
1.3.4. Diagrama de Pareto.....	140
1.4. Mejorar .....	142
1.4.1. Falla consola UPH del freno de emergencia .....	142
1.4.2. Espero aditivos para cementar .....	143
1.4.3. Espera por cambio de tecnología en Top Drive. ....	144
1.4.4. Problemas en la alineación con el equipo de TRS. ....	145
1.4.5. Espero equipo y personal de TRS .....	146
1.4.6. Falla en computadoras de equipo de TRS.....	147
1.4.7. Plan de acción .....	148
1.5. Controlar.....	149
1.5.1. Ahorros generados .....	149
1.5.2. Optimizaciones operativas.....	150

CAPÍTULO 5.....	151
Análisis de resultados y conclusiones .....	151
1.1. Análisis de resultados.....	151
1.2. Conclusiones.....	153
Anexos.....	155
Referencias.....	160

## Agradecimientos

*A mi universidad, por proporcionarme las herramientas que me ayudaran a forjar mi camino profesional y por poner en mi vida a personas importantes que me han seguido a la fecha por muchos años más.*

*A la vida, por permitirme conocer personas increíbles que me han impactado y guiado para llegar a ser la persona que soy hoy en día, por permitirme vivir momentos increíbles y por darme la oportunidad de vivir y aprender de mis errores.*

*A mi hermana y a mi mamá, por enseñarme a ser perseverante y nunca dejarme solo, me han enseñado que con esfuerzo podemos alcanzar lo que más deseamos y que una caída no es representativa de todo el potencial que podemos alcanzar.*

*A mi asesor de tesis, Daniel Marure Valdez, por todo el tiempo que ha dedicado a este trabajo y por no perder la fe en este proyecto, así mismo me gustaría agradecerle por la oportunidad de empezar mi desarrollo profesional y siempre estar pendiente del crecimiento de todos sus alumnos.*

*A mis amigos, Eli, Pablo, Yoselin, Sheyla, Ivone y Aldo que no me han dejado caer en los momentos de más debilidad y me han impulsado a ser mejor cada día, también por tener fe en mí y demostrarme que podemos seguir creciendo juntos, cada uno seguirá su camino, pero sé que siempre podemos contar con el apoyo de nuestra gente.*

*A mis coordinadores, Johana y Reyna, por tener la paciencia de enseñarme, guiarme y siempre tener un consejo para poder crecer, no solo en el ámbito profesional, también en el personal, muchas gracias por la oportunidad que me han dado.*

## Lista de figuras

Ilustración 1. Ciclo de vida de los activos. ....	26
Ilustración 2. Tipos de confiabilidad, metodologías y mejores prácticas del PCO. ....	33
Ilustración 3 Gráfica ejemplo análisis de fallas. ....	40
Ilustración 4. Ventana operativa de fluidos de perforación y asentamientos de TR. ....	58
Ilustración 5. Gráfica de trayectoria propuesta para la perforación del pozo. ....	73
Ilustración 6. Condiciones de perforación en la etapa TR 20". ....	81
Ilustración 7. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 20". ....	82
Ilustración 8. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa TR 20". ....	85
Ilustración 9. Condiciones de perforación en la etapa TR 16". ....	87
Ilustración 10. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 16". ....	88
Ilustración 11. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa TR 16". ....	91
Ilustración 12. Condiciones de perforación en la etapa TR 11 7/8". ....	93
Ilustración 13. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 11 7/8". ....	94
Ilustración 14. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa TR 11 7/8". ....	97
Ilustración 15. Condiciones de perforación en la etapa Liner 9 5/8". ....	99
Ilustración 16. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa Liner 9 5/8". ....	100
Ilustración 17. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa Liner 9 5/8". ....	103
Ilustración 18. Condiciones de perforación en la etapa Liner 7". ....	105
Ilustración 19. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa Liner 7". ....	106
Ilustración 20. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa Liner 7". ....	109
Ilustración 21. Condiciones de perforación en la etapa AD 6". ....	111
Ilustración 22. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa AD 6". ....	112
Ilustración 23. Organigrama del equipo de trabajo presente en el caso de estudio. ....	125
Ilustración 24. Gráfica de NPT en etapa TR 16". ....	137

Ilustración 25. Diagrama de Pareto problemática en cambio de etapa TR 16". .....	141
Ilustración 26. Evidencia No.1 falla en consola UPH del freno de emergencia. ....	142
Ilustración 27. Evidencia No.2 falla en consola UPH del freno de emergencia. ....	142
Ilustración 28. Evidencia No.1 espera de aditivos para cementar.....	143
Ilustración 29.Evidencia No.2 espera de aditivos para cementar.....	143
Ilustración 30. Evidencia No.1 espera por cambio de tecnología en Top Drive. ....	144
Ilustración 31. Evidencia No.2 espera por cambio de tecnología en Top Drive. ....	144
Ilustración 32. Evidencia No.1 alineación con el equipo de TRS. ....	145
Ilustración 33. Evidencia No.1 espera equipo y personal de TRS. ....	146
Ilustración 34. Evidencia No.1 falla en computadoras de equipo de TRS.....	147

## Lista de tablas

Tabla 1. Columna geológica esperada.....	50
Tabla 2. Características de fluidos programados por intervalo de perforación.....	59
Tabla 3. Características de barrenas para perforación de pozo. ....	60
Tabla 4. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 20".....	61
Tabla 5. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 16".....	62
Tabla 6. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 11 7/8".....	63
Tabla 7. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 9 5/8".....	64
Tabla 8. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 7". ....	65
Tabla 9. Arreglo de sarta de perforación para etapa AD 6". ....	66
Tabla 10. Características de cementación para la etapa TR 20". ....	67
Tabla 11. Características de cementación para la etapa TR 16". ....	68
Tabla 12. Características de cementación para la etapa TR 11 7/8". ....	69
Tabla 13. Características de cementación para la etapa TR 9 5/8". ....	70
Tabla 14. Características de cementación para la etapa TR Liner 7 5/8". ....	71
Tabla 15. Programa de trayectoria del pozo. (PEMEX,2022) .....	72
Tabla 16. Programa de actividades etapa de perforación para TR 20".....	74
Tabla 17. Programa de actividades etapa de perforación para TR 16".....	75
Tabla 18. Programa de actividades etapa de perforación para TR 11 7/8".....	76
Tabla 19. Programa de actividades etapa de perforación para Liner 9 5/8".....	77
Tabla 20. Programa de actividades etapa de perforación para Liner 7". ....	78
Tabla 21. Programa de actividades etapa de perforación con barrena 6" AD.....	78
Tabla 22. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 20". ....	83
Tabla 23. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 20". ....	84
Tabla 24. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 20".....	86

Tabla 25. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 16" .....	88
Tabla 26. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 16" .....	90
Tabla 27. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 16".....	92
Tabla 28. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 11 7/8" .....	94
Tabla 29. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 11 7/8" .....	96
Tabla 30. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 11 7/8".....	98
Tabla 31. Tiempos no productivos en perforación de etapa Liner 9 5/8" .....	100
Tabla 32. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa Liner 9 5/8" .....	102
Tabla 33. Tiempos no productivos cambio de etapa Liner 9 5/8" .....	104
Tabla 34. Tiempos no productivos en perforación de etapa Liner 7" .....	106
Tabla 35. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa Liner 7" .....	107
Tabla 36. Tiempos no productivos cambio de etapa Liner 7" .....	110
Tabla 37. Tiempos no productivos en perforación de etapa AD 6" .....	112
Table 38. Resumen de eficiencias de etapas de perforación y cambio de etapa.....	122
Tabla 39. Simbología utilizada en diagrama Swimlane pt.1.....	128
Tabla 40. Simbología utilizada en diagrama Swimlane pt.2.....	128
Tabla 41. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 1 a 4. ....	129
Table 42. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 5 a 9. ....	130
Table 43. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 10 a 14. ...	131
Table 44. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 15 a 19. ...	132
Table 45. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 20 a 24. ...	133
Table 46. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 25 a 26. ...	134
Tabla 47. Recopilación de información de etapa TR 16" .....	136
Tabla 48. Tiempos clasificados por tipo de NPT en etapa TR16".....	137
Tabla 49. Lecciones aprendidas por NPT's en cambio de etapa de TR 16".....	138

Tabla 50. Lecciones aprendidas actividades no programadas en cambio de etapa de TR 16". .....	139
Tabla 51. Lecciones aprendidas por reducción de tiempos en cambio de etapa de TR 16". ...	139
Tabla 52. Datos de NPT's para elaboración de diagrama de Pareto. ....	140
Tabla 53. Plan de acción para caso de estudio (metodología Agile/Scrum). ....	148
Tabla 54. Optimización en procesos cambio de etapa TR 16". ....	150
Tabla 55. Tabla guías y procedimientos operativos. ....	159

## Introducción

Para cualquier proyecto, ya sea petrolero u de otra índole, siempre hay que estar dispuestos a correr un riesgo. Esto no significa que tengamos que ir desprotegidos para ejecutar cualquier actividad. Para el caso de un proyecto de explotación petrolera, es necesario llevar a cabo un análisis de riesgo, ya que nadie tiene la seguridad de que las actividades realizadas en la industria garanticen la seguridad de los equipos y sus trabajadores.

La incertidumbre está presente en todas las actividades realizadas en las intervenciones de perforación, reparación y terminación de pozos, y esa incertidumbre, fatalmente se traduce en un riesgo. Por lo tanto, un inversionista debe estar siempre consciente del mismo al invertir en un proyecto en la industria. Mencionado lo anterior, es necesario tener en cuenta las metodologías para poder cuantificar ese riesgo, lo cual involucra saber el impacto financiero y operativo al que se está exponiendo, el cual aumentará a medida que crece la importancia relativa del monto que piensa invertir.

Para resolver el problema de realizar un proyecto con altas posibilidades de que se produzca un contratiempo o una desgracia, llevaremos a cabo un análisis de riesgos. Este análisis será realizado con una simulación de numerosas situaciones que pudieran llegar a presentarse en la práctica, utilizando toda la información disponible sobre el comportamiento de las variables, dentro de los rangos correctos, para tener la certeza de que entre los resultados que hemos simulado estará el resultado real.

Con la finalidad de optimizar los recursos y de fortalecer la confiabilidad operacional, es importante establecer los lineamientos técnico-económicos y de responsabilidad del personal para la determinación del costo del ciclo de vida de los activos durante todas las fases del proyecto, destacando las fases de operación y mantenimiento, estableciendo parámetros e índices que faciliten el análisis del costo de pertenencia, basado en sistemas de información real. Para el control de su ejercicio presupuestal, las empresas tienen claramente establecidos sus conceptos de gasto, de tal manera que los rubros de inversión se distinguen perfectamente de los de operación. Sin embargo, aun dentro de una misma industria, lo que para unos es inversión para otros puede catalogarse como operación. Por lo que es importante cuantificar bien todos los gastos que realizan las áreas de exploración, perforación e ingeniería y construcción, incluidos los sueldos, y registrarlos como inversiones.

Operar y mantener un proyecto de perforación de pozos implica sostener una plantilla de personal de diversas especialidades y propósitos: personal directivo, administrativo, de ventas, de operación, de mantenimiento, de seguridad, de protección ambiental. Implica consumir diariamente toda clase de refacciones, accesorios y materiales diversos, energía eléctrica, combustibles, lubricantes y grasas; implica gastar en servicios médicos, telecomunicaciones, seguros, arrendamientos, indemnizaciones y toda clase de servicios generales que sería prolijo enumerar. Todos estos rubros constituyen los costos de operación y mantenimiento.

La empresa solo registra como inversiones sus equipos de perforación, sus edificios, su equipo de cómputo, su mobiliario, sus laboratorios y otros bienes de ese tipo, pero no los pozos; los

pozos son el producto que vende; la tubería y los materiales son materia prima; los salarios del personal son gastos de operación. Podríamos decir que todos los gastos son el costo de operación y mantenimiento, no obstante, por el tipo de negocio podríamos mejor llamarle costo de fabricación o gasto de elaboración de pozos.

Este proyecto se realizó en una filial donde los problemas identificados no requerían un análisis mayor de datos; sin embargo, las herramientas aprendidas en el curso se espera que ayuden a encontrar los problemas raíz y resolver la automatización de procesos durante la perforación de pozos. El tiempo destinado para el proyecto depende de muchos factores (recursos, tiempo), incluso en la eficiencia de tiempos como en este proyecto; la automatización requería mucha explicación de los usuarios al equipo de tecnología y esto requirió mucho tiempo, esfuerzo, claridad y seguimiento constante.

## 1.1. Prólogo

En un contexto globalizado y altamente competitivo, la industria petrolera mexicana se enfrenta a desafíos cada vez más complejos y dinámicos. Desde la exploración y producción hasta la distribución y comercialización, cada etapa de la cadena de valor de la industria petrolera está sujeta a presiones que demandan eficiencia, calidad y rentabilidad. En este escenario, la implementación de metodologías probadas y eficaces se convierte en un imperativo para garantizar la sostenibilidad y el crecimiento de las empresas en este sector estratégico para la economía mexicana.

Este trabajo se adentra en el fascinante mundo de Six Sigma, una metodología de mejora continua ampliamente reconocida por su capacidad para reducir la variabilidad y mejorar la calidad en los procesos empresariales. Sin embargo, más allá de su reconocimiento internacional, la aplicación de Six Sigma en la industria petrolera mexicana plantea desafíos específicos que requieren un enfoque adaptado y personalizado.

A lo largo de este estudio, se investigará minuciosamente cómo Six Sigma puede ser implementado de manera efectiva en los diversos aspectos y procesos relacionados con la perforación de pozos en la industria petrolera en México. Desde la planificación y ejecución de la perforación en áreas marinas hasta la gestión de la logística y el suministro de materiales, cada etapa del proceso de perforación ofrece oportunidades para aplicar los principios y herramientas de Six Sigma con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la competitividad en la industria.

Sin embargo, la implementación de Six Sigma va más allá de la simple adopción de herramientas y técnicas; implica un cambio cultural y organizacional que promueva una mentalidad de mejora continua en todos los niveles de la empresa. Desde el liderazgo comprometido hasta la capacitación del personal y la integración de los empleados en el proceso de mejora, cada aspecto de la organización debe alinearse con los principios y valores de Six Sigma para lograr resultados sostenibles y significativos.

A través de casos de estudio, análisis de datos y experiencias prácticas, este trabajo ofrece una visión profunda y perspicaz sobre la implementación de Six Sigma en la industria petrolera mexicana. Se examinan los desafíos específicos que enfrentan las empresas en este sector, así como las estrategias y mejores prácticas para superar estos obstáculos y alcanzar el éxito en la mejora de procesos y la optimización de la calidad.

Esperamos que este trabajo no solo sirva como una guía práctica para aquellos involucrados en la industria petrolera mexicana, sino también como una fuente de inspiración y motivación para aquellos que buscan impulsar la excelencia operativa y alcanzar nuevos niveles de rendimiento en un entorno empresarial cada vez más desafiante y competitivo.

## 1.2. Objetivo

### Objetivo principal

Implementar una metodología de mejora continua en la perforación de pozos con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados y mejorar la calidad del trabajo realizado. Este objetivo implica la adopción de herramientas y técnicas de mejora continua, así como la capacitación del personal en su aplicación efectiva. Se buscará identificar áreas de oportunidad en el proceso de perforación, establecer medidas para la estandarización y mejora de los procesos, y monitorear el progreso a lo largo del tiempo para asegurar una implementación exitosa y sostenible de la metodología.

### Objetivo secundario

Evaluar el impacto de la metodología de mejora continua en la productividad y rentabilidad de las operaciones de perforación de pozos mediante el análisis de indicadores clave de desempeño y la comparación con datos históricos. Se llevará a cabo un seguimiento detallado de variables como el tiempo de perforación, la calidad del trabajo realizado y la seguridad en el lugar de trabajo antes y después de la implementación de la metodología. Los resultados obtenidos servirán como base para determinar la efectividad y el retorno de inversión de la implementación de la metodología de mejora continua en la perforación de pozos.

### 1.3. Justificación

La industria de perforación de pozos enfrenta constantemente desafíos relacionados con la eficiencia operativa, los costos elevados y la necesidad de mantener altos estándares de calidad y seguridad. En este contexto, la implementación de una metodología de mejora continua emerge como una estrategia fundamental para abordar estas problemáticas de manera efectiva.

Esta justificación se sustenta en la premisa de que la mejora continua no solo permite identificar y corregir las deficiencias existentes en los procesos de perforación, sino que también promueve la innovación, la eficiencia y la excelencia operativa a lo largo del tiempo. Al adoptar esta metodología, las empresas de perforación de pozos pueden aspirar a optimizar sus operaciones, reducir los costos asociados, mejorar la calidad del trabajo realizado y garantizar un entorno laboral más seguro para su personal. Además, la implementación de una metodología de mejora continua refleja el compromiso de la organización con la excelencia y la búsqueda constante de la mejora en todas las áreas de su operación.

En resumen, la implementación de una metodología de mejora continua en la perforación de pozos se justifica como una estrategia clave para enfrentar los desafíos actuales de la industria y garantizar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

## 1.4. Hipótesis

La implementación de Six Sigma en el seguimiento operativo de la perforación de pozos petroleros permitirá reducir significativamente la variabilidad en los tiempos de perforación, mejorar la eficiencia de los procesos y aumentar la calidad en la ejecución de las operaciones. Se espera que, mediante la identificación y eliminación de causas de variabilidad, la aplicación de metodologías Six Sigma conduzca a una reducción del tiempo total de perforación, disminución de los costos asociados y mejora en la seguridad y fiabilidad de las operaciones. Además, se espera que Six Sigma proporcione herramientas y técnicas efectivas para la gestión proactiva de riesgos, lo que permitirá anticipar y mitigar posibles contratiempos durante el proceso de perforación. En última instancia, la aplicación de Six Sigma en el seguimiento operativo de la perforación de pozos petroleros tiene el potencial de optimizar la productividad de los equipos de perforación, aumentar la rentabilidad de los proyectos y fortalecer la posición competitiva de las empresas en la industria petrolera.

Se demostrará que la implementación de Six Sigma en el seguimiento operativo de la perforación de pozos petroleros permite reducir significativamente la variabilidad en los tiempos de perforación, mejorar la eficiencia de los procesos y aumentar la calidad en la ejecución de las operaciones. Se espera que, a través de la aplicación de metodologías Six Sigma, se identifiquen y eliminen las causas de variabilidad en los procesos de perforación, lo que conducirá a una reducción del tiempo total de perforación y a una disminución de los costos asociados. Además, se demostrará que Six Sigma proporciona herramientas y técnicas efectivas para la gestión proactiva de riesgos, lo que permitirá anticipar y mitigar posibles contratiempos durante el proceso de perforación.

Lo complementario a demostrar será la mejora en la seguridad y fiabilidad de las operaciones de perforación, así como el aumento de la productividad de los equipos de perforación. Se demostrará también que la implementación de Six Sigma fortalece la posición competitiva de las empresas en la industria petrolera al optimizar la rentabilidad de los proyectos y aumentar la eficiencia operativa en general.

## 1.5. Metodología utilizada

La implementación de Six Sigma en la perforación de pozos implica un enfoque metodológico estructurado para mejorar la eficiencia, reducir los costos y minimizar los riesgos. La metodología utilizada sigue los principios fundamentales de Six Sigma, que se centran en la eliminación de defectos y la optimización de procesos a través de la aplicación de métodos estadísticos y análisis de datos.

- **Definición del proyecto:** En esta etapa, se identifican los objetivos específicos del proyecto de perforación de pozos, así como los requisitos del cliente y las métricas clave de desempeño. Se define el alcance del proyecto y se establecen los límites del proceso a mejorar.
- **Medición:** Se recopilan datos relevantes sobre el proceso de perforación de pozos, incluidos tiempos de perforación, costos, calidad del trabajo y cualquier otro factor que pueda afectar el rendimiento. Se utilizan herramientas estadísticas para analizar y entender la variabilidad del proceso.
- **Análisis:** En esta etapa, se identifican y priorizan las causas raíz de los problemas y defectos en el proceso de perforación de pozos. Se utilizan técnicas como el análisis de Pareto y el diagrama de Ishikawa para identificar las áreas de mayor impacto y oportunidades de mejora.
- **Mejora:** Se desarrollan e implementan soluciones para abordar las causas raíz identificadas durante la etapa de análisis. Se prueban y validan estas soluciones utilizando métodos como el diseño de experimentos y se ajustan según sea necesario.
- **Control:** Una vez implementadas las soluciones, se establecen controles para monitorear continuamente el proceso de perforación de pozos y garantizar que las mejoras se mantengan a largo plazo. Se establecen sistemas de retroalimentación y se implementan medidas correctivas según sea necesario.
- **Cierre del proyecto:** Se revisan los resultados obtenidos en el proyecto de implementación de Six Sigma en la perforación de pozos y se documentan las lecciones aprendidas. Se realizan recomendaciones para futuras mejoras y se cierra formalmente el proyecto.

Esta metodología proporciona un marco sistemático y basado en datos para la mejora continua en la perforación de pozos, permitiendo a las organizaciones alcanzar niveles más altos de eficiencia, calidad y rentabilidad. Sin embargo, para comprender completamente el contexto y la importancia de Six Sigma, es crucial resumir su historia.

## Historia del Six Sigma

La filosofía de Six Sigma tuvo sus inicios en la década de los 80 como una estrategia para mejorar la calidad en Motorola, donde el ingeniero Mikel Harry desempeñó un papel fundamental al impulsar la evaluación y análisis de la variación de los procesos. En ese contexto, la creciente globalización llevó a las empresas a buscar métodos más efectivos para optimizar sus procesos y aumentar su productividad y competitividad. La reducción de la variabilidad en elementos clave se convirtió en un objetivo crucial para mejorar el funcionamiento regular de los procesos. La eficiencia y eficacia de la organización se miden a menudo evaluando la desviación estándar del proceso, representada por el símbolo  $\sigma$ , como indicador confiable de desempeño. Bob Galvin, con su apoyo, enfatizó la importancia no solo del análisis de variación, sino también de la mejora continua, convirtiéndose en el foco principal del esfuerzo por mejorar la calidad en Motorola, lo que captó la atención del CEO.

Six Sigma modificó el estándar al requerir que un proceso tenga 4.5 desviaciones de la media, lo que implica que debe haber una cantidad significativa de datos de proceso dentro de esta ventana. Esta modificación proporciona una justificación filosófica para el desarrollo de Six Sigma como una herramienta para medir el desempeño organizacional en su conjunto. Este enfoque ha evolucionado con el tiempo y se ha convertido en una nueva filosofía de calidad que muchas empresas utilizan actualmente como parte de sus estándares de calidad.

Lawrence Bossidy, quien se retiró de General Electric en 1991 y asumió la dirección de Allied Signal, se sintió motivado por esta nueva iniciativa de mejora para transformar la empresa y aumentar su éxito. Allied Signal experimentó un aumento significativo en sus ventas durante la década de 1990, y Texas Instruments también adoptó este modelo de calidad con resultados exitosos. La eficacia de Six Sigma fue reconocida incluso por el CEO de General Electric, Jack Welch, en 1995, lo que llevó a una transformación importante en la empresa.

Como evidencia de que Six Sigma no es una metodología aislada, sino que se integra en la mejora continua, su adopción fortalece los criterios establecidos en las normas de calidad ISO y complementa una apuesta por técnicas avanzadas de control estadístico de la calidad. Esto demuestra su capacidad para mejorar la calidad y la eficiencia en una variedad de industrias.<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Adaptado de L. Bossidy, "Six Sigma: origen, evolución y aplicación en la mejora continua de la calidad," *Journal of Quality Management*, vol. 19, 2005.

## 1.6. Narrativa por capítulos

### Capítulo 1. Programa de confiabilidad operativa (PCO).

En este capítulo se describirá el proceso de confiabilidad operativa junto con sus definiciones y conceptos, así como su aplicación actual en los procesos de perforación, terminación y reparación de pozos.

Confiabilidad de diseño: implica el uso sistemático de criterios y métodos de confiabilidad desde la fase de diseño, con el propósito de identificar los niveles de eficiencia, seguridad, confiabilidad y riesgo.

Confiabilidad humana: busca establecer altos estándares de desempeño humano para diseñar, operar y mantener las instalaciones de los equipos de perforación de manera confiable y segura.

Confiabilidad de proceso: se establece el rango óptimo para operar y producir de manera segura, rentable, confiable y sostenible.

Confiabilidad de equipo: busca minimizar la probabilidad de fallas al lograr niveles de excelencia en el mantenimiento y operación de los componentes, equipos y sistemas.

### Capítulo 2. Análisis de indicadores de cumplimiento de un caso de estudio en el campo BEK de confiabilidad operativa.

En este capítulo se plantearán los programas operativos y se definirán las características del caso de estudio, así como el desarrollo del proceso de perforación de un pozo, mencionando narrativas fundamentales para el análisis de las problemáticas presentes en cada una de las etapas del proyecto. Se analizarán los indicadores aplicados a las operaciones del caso de estudio, así como los resultados obtenidos de los indicadores de desempeño del equipo estudiado, aplicando metodologías de análisis de KPI's.

### Capítulo 3. Diseño y propuesta de mejoras en el sistema de confiabilidad operativa.

En este capítulo se revisarán las bases de la metodología Six Sigma, así como la propuesta de mejora continua, su aplicación y las partes fundamentales que nos servirán para analizar el caso de estudio y la problemática presente en el proceso de perforación y terminación del pozo analizado.

### Capítulo 4. Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa.

Debido a que la metodología Six Sigma se aplica en un proceso específico de la elaboración del proyecto, se seleccionará un área en la cual tengamos la posibilidad de realizar el análisis e implementar la metodología, con la finalidad de obtener una propuesta de optimización de tiempos para la realización de la etapa que se está evaluando.

## CAPÍTULO 1

### Programa de confiabilidad operativa (PCO)

El programa de confiabilidad operativa es un modelo de gestión que tiene como objetivo aumentar el valor de la empresa al cambiar el enfoque tradicional de proveedores, insumos, procesos, productos, clientes, a los activos y su valor para aumentar la rentabilidad. La creación de valor se alimenta de maximizar la efectividad del ciclo de vida de los activos, aumentar su uso y reducir el riesgo asociado con su operación a través de metodologías y mejores prácticas de confiabilidad.<sup>(1)</sup>

#### 1.1. Objetivo del programa de confiabilidad operativa

Su objetivo es ayudar a la empresa a maximizar su rentabilidad mediante la aplicación sistemática de un proceso de mejora continua de la confiabilidad operativa. Esto se logra mediante la aplicación de tecnologías, metodologías y mejores prácticas globales que permiten mejorar el desempeño humano, obtener alta certeza en el cumplimiento de planes y programas operativos, presupuestos y recursos, todo ello a través de una rendición de cuentas. Los beneficios de la aplicación del sistema son:

- Alcanzar el equilibrio en los ejes de Costo, Riesgo y Desempeño para crear mayor valor al negocio.
- Homologar, alinear y cumplir con las Normas, Regulaciones, Metodologías y Mejores Prácticas en cuestión de confiabilidad de Petróleos Mexicanos y Agencias Gubernamentales.
- Administrar y priorizar las oportunidades de mejora con base en el valor agregado que aportan para mejorar los indicadores en materia de costo, riesgo y desempeño.
- Incrementar valor minimizando los desperdicios en todas sus formas.

Los activos sirven como el bloque de construcción fundamental de los procesos de producción y rentabilidad empresarial. Esto hace que la confiabilidad operativa sea más que un simple proyecto técnico u operativo: es una estrategia comercial. Es crucial reconocer la confiabilidad como un factor de flexibilidad y como una forma de cerrar la brecha de desempeño operativo.

En relación con la reducción de costos, es importante señalar que frecuentemente se ordenan reducciones sin conocimiento de los requerimientos económicos necesarios para mantener los activos físicos. Estos requerimientos son frecuentemente establecidos por la vida útil del activo, el requerimiento de mantenimiento para mantener la función productiva, un adecuado control de los modos de falla, así como la gestión de riesgos. Las reducciones de costos logradas por instrucciones o mandato son solo temporales a menos que se incorporen y apliquen estrategias de confiabilidad para aumentar la vida útil del activo, lo que a su vez resulta en una disminución de las actividades de mantenimiento y reparación. Retrasar el mantenimiento de activos puede

<sup>(1)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020

<sup>(2)</sup> Idem.

<sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> Idem.

reducir temporalmente los costos, pero hacerlo tiene riesgos negativos que a menudo son más costosos de manejar. Estos riesgos son causados por las consecuencias de retrasar el mantenimiento de los activos, que tienen un impacto adverso en la integridad del activo.

En términos del valor que agregan al proceso de producción, las actividades operativas y de mantenimiento deben priorizarse y enfocarse. Por lo tanto, pasar de una perspectiva de producción volumétrica a una visión empresarial hacia la creación de valor requiere cambios en la cultura organizacional. Maximizar el valor por encima de la simple reducción de costos es un compromiso que requiere estos cambios. Esto se logra mediante el análisis y la evaluación del método utilizado para el seguimiento y mantenimiento de los activos. Una estrategia orientada a resultados y beneficios económicos, en la que se fomenta la inversión y se aceptan incrementos de gastos que conducen a incrementos de valor, mejoras de eficiencia y mejoras en la gestión de riesgos, contrasta con el método tradicional, que se orienta al cumplimiento de tareas y presupuestos, siendo el principal incentivo gastar menos de lo presupuestado.<sup>(2)</sup>

Desde el punto de vista de los resultados y su beneficio económico, se examinan y evalúan las inversiones y el aumento de los gastos. Las principales ventajas que tienen un mayor valor presupuestal en este sentido son:

- Minimizar los impactos por paros no programados debido a fallas.
- Optimizar los tiempos y alcances de los paros programados.
- Administrar el riesgo.
- Optimizar los costos de operación y mantenimiento.
  - Disminuir el uso de energía.
  - Priorizar las acciones de mantenimiento.
- Aplicar políticas para inventario de refacciones y componentes de equipos críticos.
- Incrementar la disponibilidad y utilización de los equipos para el manejo de la producción.

El objetivo de la confiabilidad es alcanzar altos estándares de desempeño mientras se equilibra el costo y el riesgo de las instalaciones de producción y soporte, con el fin de lograr con éxito los niveles más altos de eficiencia en el uso, productividad y rentabilidad de los activos, manteniendo la sostenibilidad.

Finalmente, el Sistema de Confiabilidad exige excelencia en seguridad, salud, protección del medio ambiente e integración de procesos administrativos. También establece mejoras institucionales en cultura, valores, estructura organizacional, capacitación, confiabilidad del proceso, diseño y equipamiento, con un enfoque en aumentar la eficiencia operativa (operación y mantenimiento), obtener una gestión eficiente de la cadena de suministro y optimizar el equipamiento, adoptando un enfoque integral, comercial y de confiabilidad operativa.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020

<sup>(2)</sup> Idem.

<sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> Idem.

## 1.2. Líneas de acción del programa de confiabilidad operativa

El programa de confiabilidad operativa define en su estrategia dos líneas de acción críticas “Contención y Sistematización”, que convergen en alcanzar la excelencia operativa. <sup>(4)</sup>

### 1.2.1. Contención

Uno de los principios del programa de confiabilidad es prestar atención inmediata a los malos actores para reducir la cantidad de fallas en los equipos que tienen los mayores efectos en las actividades de perforación.

La eliminación de fallas ayuda a disminuir los efectos financieros de las pérdidas de producción, reducir costos y mejorar la eficiencia de los activos; además, los costos de material y mano de obra se optimizan de forma permanente y segura. Asimismo, al eliminar las fallas, se obtienen ahorros en costos, redundancias, capital, inventarios y repuestos.

La accesibilidad y el uso de un centro de trabajo se incrementan para el manejo y/o la producción cuando allí se disminuyen las fallas. Existe la posibilidad de deshacerse de los errores en cada centro de trabajo, como resultado de una menor exposición al riesgo. La reducción de fallas también ayuda a reducir los incidentes y accidentes. Puede ser necesario utilizar técnicas de análisis para hacer visibles las fallas persistentes cuando comienzan a formar parte del entorno de trabajo. <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020

<sup>(2)</sup> Idem.

<sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> Idem.

### 1.2.2. Sistematización

Para maximizar la eficiencia y la rentabilidad de un activo, la confiabilidad operativa se basa en administrarlo durante todo su ciclo de vida, incluido el diseño, la adquisición, la instalación, la operación, el mantenimiento y la desincorporación.

A lo largo del Ciclo de Vida de los Activos, en esta línea de actuación se tiene en cuenta la aplicación holística de metodologías de fiabilidad y mejores prácticas para conseguir la sostenibilidad de los resultados. <sup>(6)</sup>



*Ilustración 1. Ciclo de vida de los activos.*

*Fuente: Elaboración propia adaptado de R. R. Young, "Asset Lifecycle Management: Integrating People, Process, Technology, and Information," Wiley, [ISBN: 9781118004474].*

#### Diseño.

Aunque cualquier evento de mantenimiento es más costoso, los costos del ciclo de vida de los equipos críticos pueden ser más bajos que los de otros equipos. La población restante de equipos suele ser mucho mayor y puede incurrir en costos más altos que los equipos críticos. Los problemas recurrentes generalmente se aceptan en equipos menores, pero cuando se examinan a fondo los costos del ciclo de vida, queda claro que las fallas recurrentes, a veces provocadas por el diseño y pasadas por alto o toleradas, representan un área de oportunidad importante.

La eliminación de fallas de fabricación, construcción, operación y mantenimiento provocadas por un diseño deficiente es un requisito para la optimización de activos. Con el objetivo de aumentar la confiabilidad y reducir las actividades de mantenimiento, se concentran en el diseño inicial y los avances del diseño a lo largo del ciclo de vida. Como resultado, al diseñar

<sup>(6)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(7)</sup> Ídem.

nuevos equipos, se deben considerar mejoras y soluciones para los problemas con los equipos existentes.<sup>(7)</sup>

### Compra.

Sin confiabilidad, la ineficiencia y el mantenimiento excesivo, así como los impactos en la calidad, eliminan la ventaja del costo inicial; la adquisición basada únicamente en obtener un precio bajo es una economía falsa. Las acciones tomadas durante el ciclo de vida para reducir el costo de las piezas de repuesto y los servicios de mantenimiento esenciales suelen resultar en una disminución de la disponibilidad y la producción, así como en un aumento de los costos a largo plazo. Al minimizar la importancia de las especificaciones de los materiales y comprar equipos o repuestos que no cumplen con dichas especificaciones, los supuestos "ahorros" en adquisiciones pueden resultar en pérdidas operativas significativas.<sup>(8)</sup>

### Instalación.

Para reducir el costo del ciclo de vida tanto como sea posible, la calidad de la instalación de los activos es crucial. Los líderes deben cumplir estrictamente con los requisitos de instalación de equipos, preparación de cimientos, nivelación de la placa base, fijación de bridas en los ductos, alineación de flechas, limpieza del sistema de lubricación, limpieza de tuberías y separadores, entre otros, de acuerdo con las mejores prácticas internacionales.<sup>(9)</sup>

### Operación y mantenimiento.

Es necesario garantizar el correcto funcionamiento. Según algunas estadísticas, los errores operativos son responsables de más del 30 % de los costos de mantenimiento. Estos errores incluyen aquellos provocados por la falta de disciplina operativa. Muchos de los problemas operativos que podrían surgir podrían evitarse con pequeños cambios o acciones sencillas, como asegurarse de que el equipo y las instalaciones se inicien y detengan de acuerdo con los requisitos específicos.

El desempeño insatisfactorio se puede descubrir comparando metódicamente las condiciones de diseño con las condiciones de operación. Deben establecerse los mejores rangos operativos y todas las funciones de protección de equipos y procesos deben activarse de acuerdo con el nivel de riesgo tolerable más reciente.

En el sentido de aplicar acciones correctivas tan pronto como las variables monitoreadas muestren desviaciones respecto a lo preestablecido, estos rangos óptimos, también conocidos como ventanas operativas (o "Best Practice" en inglés, o Metodología de Confiabilidad), han establecido sus límites de riesgo actualizados. El objetivo principal es operar de manera segura y responsable, minimizando costos, riesgos, interrupciones y paradas no planificadas.<sup>(10)</sup>

<sup>(6)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(7)</sup> Ídem.

El Sistema Confiabilidad describe tres métodos para incrementar la rentabilidad de los procesos:

1. Mejorando la Confiabilidad
2. Mejorando la Mantenibilidad
3. Incrementando la Máxima Tasa de Producción Demostrada

El mantenimiento y su optimización existen cinco actividades que deben implementarse para mejorar la efectividad del mantenimiento:

- 1) *Desarrollar e implementar un programa jerarquizado de mejoras en la Confiabilidad Operacional, dirigido a reducir las necesidades de mantenimiento.*
- 2) *Crear e implementar programas que busquen la confiabilidad con un enfoque en actividades de mantenimiento proactivo y privilegiando el mantenimiento basado en condición.*
- 3) *Establecer una efectiva administración de los trabajos de mantenimiento, mejorando en la planeación y programación.*
- 4) *Aplicar sistemáticamente la Disciplina Operativa para cumplir los procesos y procedimientos establecidos.*
- 5) *Optimizar la administración de almacenes, inventario, mantenimiento y despacho del refaccionamiento.*

Una adecuada gestión en el mantenimiento preventivo y predictivo, incrementan la eficiencia y períodos de vida en los activos.

La aportación del mantenimiento a la Confiabilidad Operacional está orientada al cumplimiento de tres atributos:

- 1) *Eliminación de fallas y sus causas.*
- 2) *Extensión del tiempo de vida operativo del activo.*
- 3) *Reducción del costo en los cuidados del activo, reduciendo los requerimientos de trabajo (menos actividades de mantenimiento).*

Se debe evaluar la eficacia y eficiencia de los planes y programas de mantenimiento preventivo y predictivo de los activos durante su ciclo de vida. Los planes y programas corren el riesgo de no cubrir adecuadamente las necesidades de los activos si no se realiza una evaluación exhaustiva de la eficacia y se pueden utilizar técnicas de mantenimiento ineficaces.<sup>(11)</sup>

<sup>(8)</sup>Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(9)</sup>Ídem.

<sup>(10)</sup> <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup>Ídem.

## Disposición Final.

Cuando los objetivos operativos o de producción no se cumplen de manera eficiente y eficaz, o cuando el costo de mantenimiento es demasiado alto para mantener los niveles necesarios de confiabilidad, el ciclo de vida de un activo llega a su fin. En esta situación, sus opciones son reemplazar el activo o modificarlo.

Teniendo en cuenta lo anterior, todos los activos tienen un ciclo de vida y deben renovarse de acuerdo con una política de renovación de activos con el fin de maximizar el rendimiento de las operaciones, reducir costos y controlar los riesgos.

Al momento de utilizar un programa de confiabilidad operativa se utilizará una política clara de renovación de activos y debe seguirse cuando:

1. Los costos de operación y/o de mantenimiento durante el ciclo de vida restante del activo exceden el costo de sustitución.
2. Hay un inminente riesgo de falla del activo.
3. El impacto probable de una falla supera el costo de la sustitución.
4. Una falla probable puede comprometer la confiabilidad y la seguridad del sistema y las personas.
5. Los activos se vuelven obsoletos e ineficientes para su utilización y el mantenimiento.
6. Los beneficios que se obtienen con una sustitución implican: mejora en los indicadores relativos a la seguridad de las personas, medio ambiente, costos y desempeño de la empresa.<sup>(12)</sup>

<sup>(8)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(9)</sup> Ídem.

<sup>(10)</sup> <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> Ídem.

### 1.3. Proceso de mejora continua del programa de confiabilidad operativa

Para que el programa de confiabilidad operativa pueda evolucionar se aplica una metodología cíclica de mejora continua y mejores prácticas, el cual está compuesto por 5 niveles:

#### 1.3.1. Nivel 1. Evaluación del programa de confiabilidad actual

En este nivel se fundamenta la metodología de mejora continua en el programa de confiabilidad. Dado que la metodología aún no está completamente implementada, se cree que no existen registros oficiales de las mismas. En consecuencia, los esfuerzos de la organización deben estar enfocados en generar conciencia sobre el impacto organizacional como componente del sistema de confiabilidad. El personal debe demostrar objetivamente el conocimiento del valor de trabajar en el sistema de mejora y cómo esto puede ayudar a aumentar la confiabilidad operativa para alcanzar una mayor eficiencia.

#### 1.3.2. Nivel 2. Desarrollo del programa de confiabilidad

Este nivel corresponde al grado de implementación en el que se han creado y registrado los mecanismos y procedimientos requeridos por la metodología de mejora. Antes del diseño, desarrollo y documentación completos de todos los procedimientos y mecanismos de los requisitos de este nivel, el mismo no se considera satisfecho.

#### 1.3.3. Nivel 3. Establecimiento de sistema de confiabilidad

Este nivel corresponde a la etapa de implementación en la que se comienzan a poner en marcha los procedimientos y mecanismos de la metodología de mejora continua. Este nivel no se alcanzará hasta que se hayan difundido todos los mecanismos y procedimientos creados en el nivel anterior, se haya capacitado al personal y se comience a aplicar de manera generalizada, con algunas desviaciones.

#### 1.3.4. Nivel 4. Implementación del sistema de confiabilidad

Este nivel corresponde a la etapa de implementación en la que se han puesto en marcha todos los procesos y mecanismos necesarios de cada etapa de la metodología. Este nivel no está completo hasta que todos los procesos y mecanismos creados para satisfacer el nivel 2 hayan sido completamente implementados sin presentar ningún tipo de desviación sistemática. En esta etapa, el personal ya está siguiendo los procedimientos porque cree firmemente en las ventajas que ofrecen y se ha completado al menos un ciclo de mejora.

### 1.3.5. Nivel 5. Mejora Continua

Se refiere a la etapa de implementación donde no solo se han tomado todos los pasos y mecanismos necesarios para llevar a cabo las recomendaciones de la metodología de mejora continua, sino que también se ha establecido y puesto en marcha más de un ciclo de mejora con el fin de lograr la excelencia a través de la eficiencia. <sup>(13)</sup>

## 1.4. Metas del programa de confiabilidad operativa

El programa de confiabilidad converge en el logro de resultados enfocados en la gestión óptima de activos, resultados orientados al beneficio financiero de la empresa.

Los siguientes son los indicadores de desempeño que evalúan la eficiencia de la empresa e incorporan y reflejan el papel que juegan la disponibilidad de activos, los valores de producción, el nivel de calidad y en la determinación de la rentabilidad de los centros de trabajo:

- **EVA.** - “Valor económico agregado” (Economic Value Added).
- **RONA.** - “Retorno sobre los Activos Netos” (Return On Net Assets).
- **ROCE.** - “Retorno sobre Capital Empleado” (Return On Capital Employed).

Las metas estratégicas de confiabilidad operacional se medirán principalmente a través de este indicador, y sus valores deberán ser definidos por cada binomio subdirección operacional, en función del grado de utilización del indicador “EVA” a nivel estratégico de la empresa. La máxima efectividad del ciclo de vida del activo y el contexto operativo de la obra.

Del mismo modo, es fundamental crear metas tácticas y operativas que específicamente apoyen y sirvan como base para el desempeño de los activos, procesos de trabajo y prácticas desarrollados para lograr las metas estratégicas.

<sup>(13)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(14)</sup> Ídem.

La empresa debe: Fomentar el desempeño, planificar y dirigir mejoras, y evaluar el avance a través de sus metas y objetivos. Los siguientes criterios, denominados SMART por sus siglas, deben ser tomados en consideración a la hora de establecer los objetivos:

**S**imple      Redactar en forma específica y relacionada a una tarea en particular.

**M**edible      Indicación cualitativa o cuantitativa del grado de cumplimiento.

**A**lcanzable      Establecer que se va a hacer usando verbos.

**R**ealista      Toma en cuenta los recursos y el tiempo disponible para alcanzarlo.

**T**razable      Incluir la fecha de ejecución.

Para lograr estándares de clase mundial, se alienta a la organización a través de estas metas y objetivos a planificar actividades que aumentarán la confiabilidad. <sup>(14)</sup>

<sup>(13)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(14)</sup> Ídem.

### 1.5. Metodologías y mejores prácticas de confiabilidad operativa

Las 13 metodologías de confiabilidad y mejores prácticas que componen el sistema de confiabilidad deben ser utilizadas de manera selectiva y en conjunto cuando sea apropiado para maximizar el uso de las herramientas institucionales y agregar valor a la organización y al proyecto.

Este manual conceptualiza el uso de metodologías de confiabilidad y mejores prácticas, respaldadas por estándares internacionales, abarcando los objetivos, metas y planes de la organización a nivel técnico, operativo y administrativo, con un equilibrio suficiente entre los ejes de costo, riesgo y desempeño. <sup>(15)</sup>

Los 4 tipos de confiabilidad se dividen en las siguientes metodologías y mejores prácticas de confiabilidad:



*Ilustración 2. Tipos de confiabilidad, metodologías y mejores prácticas del PCO.*

*Fuente: Elaboración propia adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.*

<sup>(15)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

### 1.5.1. Costos del ciclo de vida de los activos

Establece los lineamientos técnico-económicos y de responsabilidad del personal para orientar el proceso de determinación, además de realizar un análisis de los costos de propiedad de los activos físicos, centrándose en las fases de operación y mantenimiento del proyecto. Se establecen índices y parámetros que faciliten el 'análisis del costo del ciclo de vida', basándose en sistemas de información reales, con el fin de optimizar recursos y fortalezas.

La proyección de CAPEX (costos asociados a investigación, diseño, construcción e instalación) y OPEX (costos operativos) se tiene en cuenta en el análisis comparativo de la fase de diseño para determinar el costo anual equivalente del ciclo de vida de opciones técnicamente viables. De acuerdo con la vida útil estimada, la vida tecnológica y la vida económica de los activos, se calculan los costos relacionados con la operación y mantenimiento, los costos de parada de las instalaciones, los costos de afectación y los costos de disposición final.<sup>(16)</sup>

### 1.5.2. RAM (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad)

El análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) es una de las "buenas prácticas de diseño de ingeniería". La confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema, que incluye la facilidad de mantenimiento, son los tres parámetros clave que se tienen en cuenta en el análisis RAM, el cual es un análisis estadístico.

Se crean distribuciones de probabilidad de falla y tiempo de inactividad programado y no programado utilizando datos de falla relacionados con los componentes del sistema a través del análisis de RAM.

El objetivo final de un estudio RAM es identificar la pérdida de producción y la indisponibilidad de un proceso de producción en función de la configuración del equipo, la confiabilidad de sus componentes, las prácticas de mantenimiento y la filosofía operativa actual. Todas las acciones mencionadas anteriormente se toman para maximizar el rendimiento del proceso, reducir las pérdidas de producción provocadas por fallas en los equipos o sistemas, y garantizar el cumplimiento de los objetivos de seguridad, ambientales y de producción establecidos.<sup>(17)</sup>

### 1.5.3. Ingeniería de factores humanos

El objetivo es desarrollar y estandarizar un sistema de codificación y gestión del comportamiento mediante el estudio del error humano, centrándose en el análisis de la confiabilidad humana en sistemas, funciones y trabajos críticos más susceptibles al error. Este sistema busca reducir los factores humanos identificados a través de un programa de seguridad, salud y protección ambiental (SSPA) aplicado específicamente en los procesos de perforación.<sup>(18)</sup>

<sup>(16)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(17)</sup> Ídem.

<sup>(18)</sup> Ídem.

#### 1.5.4. Orden y limpieza

Su objetivo es delinear el procedimiento para implementar orden y limpieza en las instalaciones, mediante la aplicación sistemática de la metodología “5S”, que permite mejorar el clima laboral y la actitud de los empleados, así como aumentar la productividad y la seguridad. <sup>(19)</sup>

#### 1.5.5. Planeación de la producción

Para que los compromisos y metas puedan ser evaluados en consideración de los riesgos inherentes a la planificación, tales como la confiabilidad de las instalaciones, la seguridad del sistema, el mantenimiento o las actividades operativas que puedan requerir la interrupción o reducción de capacidad, y el ciclo operativo en el contexto de la fase operativa del ciclo de vida, se busca establecer un proceso y elementos clave que garanticen una adecuada planificación de la operación. <sup>(20)</sup>

#### 1.5.6. Contexto operacional y ventanas operativas

Establecer el procedimiento y definir los componentes esenciales que aseguren la operación de las unidades y/o activos dentro de los rangos establecidos, permitiendo alcanzar la máxima efectividad y confiabilidad operativa según lo especificado en el diseño de cada parámetro. Esto guiará el desarrollo y/o actualización del contexto operativo y las ventanas operativas.

El proceso utiliza datos técnicos de diseño, estado actual y rendimiento relacionados con la integridad mecánica, confiabilidad, margen económico, consumo de energía y pérdidas cuantificadas. Estos son fundamentales para garantizar una operación y mantenimiento seguros, confiables, eficientes y rentable. <sup>(21)</sup>

<sup>(19)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(20)</sup> Ídem.

<sup>(21)</sup> Ídem.

### 1.5.7. Funciones protectoras instrumentadas

En este apartado, buscamos implementar sistemas instrumentados de seguridad que reduzcan eficazmente los riesgos en los procesos a lo largo de su ciclo de vida, de manera confiable y rentable. Los diversos sistemas de protección instrumentada abarcan plantas de proceso, plantas de generación de energía y vapor, plantas de suministro y tratamiento de agua, sistemas de perforación y extracción de petróleo, sistemas de almacenamiento de petróleo, estaciones de compresión y bombeo, barcos y equipos en general. <sup>(22)</sup>

### 1.5.8. Planeación y programación del trabajo

Establece planes y programas integrales de mantenimiento de los activos físicos mientras se encuentran en uso para mantener su funcionalidad y continuidad operativa.

### 1.5.9. Administración de libranzas y reparaciones mayores

Establecer los procedimientos y ciclos de planificación para la gestión ordenada de liberaciones y reparaciones, que deberán incluir la aplicación basada en el desarrollo conceptual de liberaciones además de reparaciones, diagnósticos físicos, operativos, planificación y programación de actividades para lograr una ejecución exitosa.

Para asegurarse de contar con los recursos necesarios (materiales, contratos de servicios, acuerdos laborales, etc.), es importante identificar y priorizar rápidamente el trabajo que debe realizarse, al menos tres meses antes de iniciar la liberación o reparación, para asegurar una correcta ejecución que satisfaga las metas y objetivos predeterminados. <sup>(23)</sup>

### 1.5.10. Censo de equipo y taxonomía

Describe los procedimientos que hacen posible preparar, mejorar y actualizar sistemáticamente el censo de equipos e instalaciones, mantener la integridad de los catálogos de taxonomía de equipos e identificar las acciones clave que deben tomarse para garantizar que la información se registre con precisión y que su uso adecuado producirá los resultados deseados. Mediante el uso de la taxonomía, es posible estandarizar la aplicación de los mismos conjuntos de códigos de daño, causa, actividad, características técnicas, etc., tanto dentro de un mismo sitio o planta como entre varios centros de trabajo, regiones, zonas, sectores y/o divisiones. <sup>(24)</sup>

<sup>(22)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(23)</sup> Ídem.

<sup>(24)</sup> Ídem.

#### 1.5.11. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Identifica los recursos necesarios para mantener la funcionalidad de cada sistema y lograr el cumplimiento de las metas establecidas en seguridad, medio ambiente, costo, riesgo y desempeño. También determina la estrategia y requisitos para establecer el plan de integridad de cada sistema en su contexto operativo. <sup>(25)</sup>

#### 1.5.12. Inspección basada en riesgo

El objetivo es establecer un programa de inspección basado en el riesgo para equipos presurizados estáticos, como recipientes a presión, tuberías, tanques, dispositivos de alivio de presión y haces de tubos de intercambiadores de calor. <sup>(26)</sup>

#### 1.5.13. Refaccionamiento centrado en confiabilidad

RCS (repuestos centrados en confiabilidad) es una metodología para el sistema de inventario donde el propósito del inventario de repuestos es apoyar el mantenimiento. El almacén debe reaccionar ante cambios en las políticas de ejecución del mantenimiento, para eliminar o reducir los efectos de la falta de repuestos. <sup>(27)</sup>

<sup>(25)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(26)</sup> Ídem.

<sup>(27)</sup> Ídem.

## 1.6. Sistema del programa de confiabilidad operativa

El sistema de confiabilidad está conformado por 4 ramas que están presentes en las operaciones evaluadas por el sistema de confiabilidad operativa y mejores prácticas.

### 1.6.1. Diseño

Es la probabilidad de problemas inherentes con equipos, sistemas, plantas y proyectos de tuberías. Para alcanzar el nivel de fiabilidad requerido al menor costo posible a lo largo de su ciclo de vida, se define como la aplicación sistemática de criterios y métodos de fiabilidad desde su concepción hasta su desincorporación.

A través de la identificación de los niveles de productividad, seguridad, confiabilidad y riesgo asociados con las decisiones operativas, la aplicación “Design Reliability” influye en la toma de decisiones a lo largo de la vida útil de un activo, ayudando en la definición del rendimiento, ajustar y defender. Todo esto se reflejará en los resultados económicos, incluida la inversión inicial estimada, los costos continuos y los costos del ciclo de vida de los activos. <sup>(28)</sup>

### Análisis de riesgo del proceso (ARP)

El análisis de riesgo del proceso es un paso crucial durante las etapas de diseño y ejecución de cualquier plan operativo. Este proceso permite identificar de manera general y preliminar los posibles riesgos asociados con el diseño o las instalaciones en funcionamiento, lo que facilita la evaluación de la situación actual en términos de gestión de riesgos. <sup>(29)</sup>

*“Se define como un conjunto de metodologías que comprenden la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de ocurrencia de daños. Estos daños pueden estar asociados con diversos factores, como fenómenos naturales y sociales, fallas en los sistemas de control y mecánicos, factores humanos y aspectos de gestión. El objetivo principal de este análisis es controlar o minimizar las consecuencias negativas para el personal, la población, el medio ambiente, la producción, los procesos, los equipos y las instalaciones.” (PEMEX, 2020).*

<sup>(28)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(29)</sup> Adaptado de Guía operativa para realizar análisis de riesgos de procesos en los proyectos e instalaciones de Pemex exploración y producción (1.a ed.). (2020). Pemex exploración y producción.

## Análisis de riesgo cualitativo

Es el desarrollo de técnicas que consisten en identificar los peligros en los procesos y examinar de qué manera se pueden reducir o eliminar los riesgos que presentan estos peligros, al personal, a la población, al medio ambiente, a la producción, los procesos, los equipos o las instalaciones.

## Análisis de riesgos cuantitativo

Es el desarrollo de estimaciones numéricas de la frecuencia esperada o las consecuencias de accidentes potenciales asociados con una instalación o proceso, basados en evaluación de ingeniería y técnicas matemáticas.

### 1.6.2. Equipo

La confiabilidad del equipo se refiere a la probabilidad de que una pieza de maquinaria, una tubería, un sistema o una planta cumplan una función específica dentro de un marco de tiempo predeterminado y en un contexto determinado. El objetivo de la confiabilidad del equipo es alcanzar los niveles requeridos o acordados de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mecánica mediante la aplicación de metodologías y mejores prácticas de confiabilidad, lo que resulta en la integridad mecánica. Este objetivo se logra mediante la implementación de niveles de excelencia en el mantenimiento y cuidado de componentes, equipos, sistemas y plantas.

El uso de herramientas de análisis, metodologías y mejores prácticas de confiabilidad garantiza que los equipos y tuberías funcionen sin errores durante un período de tiempo determinado.

Para mejorar la supervisión y las pruebas de los equipos utilizados en la perforación de pozos, se planteó una metodología en el seguimiento de las fallas ocurridas en los equipos de administración con el propósito de aumentar la calidad en estas actividades. <sup>(30)</sup>

---

<sup>(30)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

Esta metodología esta subdividida en 6 puntos, los cuales son fundamentales para la estructura de la iniciativa, estos son:

### 1. Cumplimiento del programa:

En este apartado, se realiza un seguimiento de las fallas registradas durante las operaciones de perforación, así como de la asignación de responsabilidades sobre el Tiempo No Productivo (NPT) y su duración. Es de suma importancia considerar las actividades previas al incidente, ya que estas pueden proporcionar información sobre los parámetros utilizados, permitiendo así determinar si la falla se debe a un mal uso del equipo o a un fallo de funcionamiento.

Además, es crucial tener en cuenta los tiempos de espera durante los cuales se detienen las operaciones, si es necesario, para facilitar el movimiento de equipos, materiales y servicios hacia el equipo que requiere intervención.

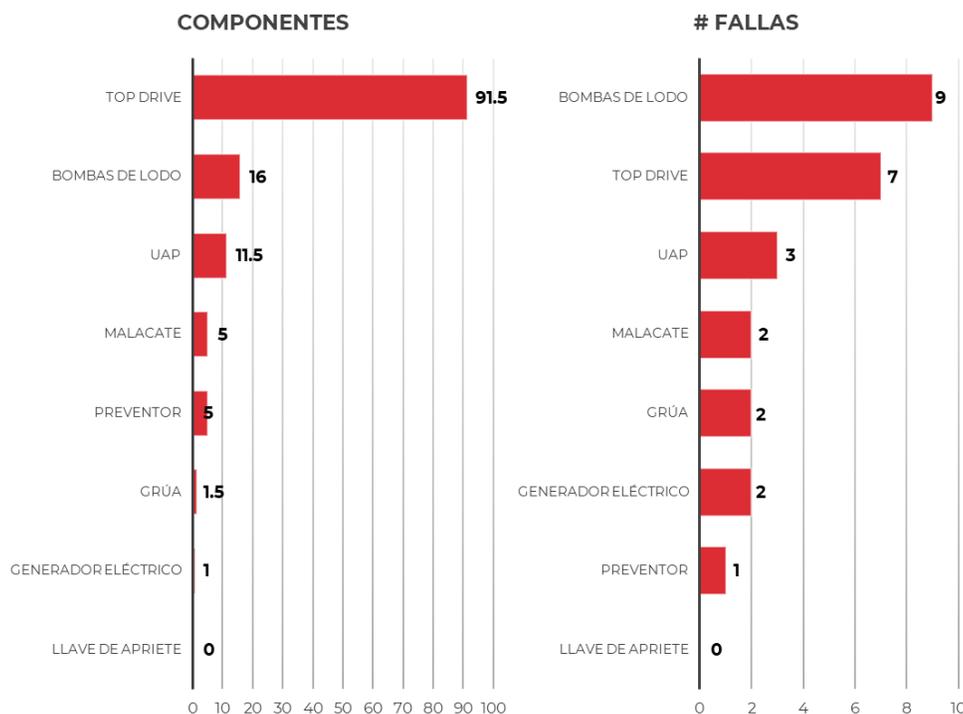


Ilustración 3 Gráfica ejemplo análisis de fallas.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del seguimiento operativo de fallas en la realización de servicio social en la Unidad de Perforación Cantarell.

En el ejemplo de las gráficas señaladas anteriormente, se puede observar el tiempo acumulado de fallas por tipo de equipo utilizado, así como el número de veces que han fallado los equipos en el mismo periodo de tiempo.

## 2. Evaluación de servicios y ejecución técnica:

En este apartado se le da seguimiento a las “Evaluaciones del desempeño de proveedores externos” en las cuales, la máxima autoridad del área de trabajo se encarga de evaluar los servicios prestados por las compañías. El formato de las evaluaciones se compone de 4 atributos:

- **Especificación técnica:** Refiere al cumplimiento de requisitos técnicos de equipos, materiales y servicios.
- **Competencia:** Es el cumplimiento en educación, formación o experiencia adecuadas del personal que entrega o ejecuta los equipos materiales y servicios.
- **Eficiencia operativa:** Es el cumplimiento con el tiempo de entrega o ejecución de los equipos, materiales y servicios.
- **SSPA:** Es el cumplimiento en Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA) aplicable durante la entrega o ejecución de los equipos, materiales y servicios.

Las evaluaciones de desempeño deben contener información del servicio que se está brindando, como es el número de contrato, proveedor externo, tipo de contrato, equipos, materiales y servicios proporcionados, número de equipo de la plataforma, nombre y número del pozo, fechas de inicio y finalización de la entrega de EMS, unidad o sector de perforación. Y son evaluadas en un esquema de no adecuado, regular, y adecuado, dependiendo del atributo que se esté evaluando son las condiciones que se tomarán en cuenta para realizar la evaluación del EMS:

- **Especificación técnica:**
  - No adecuado: 98%, 2 o más requisitos técnicos incumplidos.
  - Regular: 99%, 1 requisito técnico incumplido.
  - Adecuado: 100%, todos los requisitos técnicos cumplidos.
- **Competencia:**
  - No adecuado: 98%, 2 o más personas con la competencia.
  - Regular: 99%, 1 o más personas sin la competencia.
  - Adecuado: 100%, todo el personal es competente.

- **Eficiencia operativa:**
  - No adecuado: 98%, Con tiempo de interrupción imputable al proveedor externo con penalización.
  - Regular: 99%, con el tiempo de interrupción imputable al proveedor externo sin penalización.
  - Adecuado: 100%, sin tiempo de interrupción imputable al proveedor externo.
- **SSPA:**
  - No adecuado: 98%, 2 o más incumplimientos.
  - Regular: 99%, 1 incumplimiento.
  - Adecuado: 100%, ningún incumplimiento.

### 3. Buenas prácticas:

En este apartado se hace recuento de las buenas prácticas que se han realizado durante las operaciones de perforación de pozos, así mismo, se realiza un reporte de las buenas prácticas para futuras intervenciones a pozos.

### 4. Análisis de fallas:

En este apartado, se hace un recuento de los tiempos de falla de los equipos provistos por las compañías. Para esto se realiza una recopilación de los EMS presentes de cada compañía en los diferentes pozos operantes del activo.

Para tal efecto, se cuentan el número de eventos ocurridos en un periodo determinado de tiempo, si fue necesario realizar un ICR (incidente causa raíz), en caso haber activos en el sistema de seguimiento de incidentes del operador, el número de ICR vencidos y las recomendaciones atendidas, en proceso y vencidas por el contratista. Esto con la finalidad de tener identificadas las fallas y el seguimiento que se le está dando por parte del contratista para poder solucionarlo o el tiempo de acción que tiene para la solución de problemas.

## 5. Reuniones con contratistas:

Concluyendo con la metodología de seguimiento de PCO orientada a las fallas de los EMS utilizados en las operaciones de perforación de pozos, se programan revisiones de calidad de los servicios prestados semestralmente, con la finalidad de que los contratistas presenten información relacionada con las fallas presentadas, completar encuestas de calidad de servicio, dar retroalimentación con respecto a los EMS proporcionados por los contratistas, llegar a acuerdos en aras de optimizar el desempeño de las operaciones mejorando la comunicación entre el operador y el prestador de servicios, entre otros temas.

## 6. Programas:

Es importante para esta metodología el estar preparados para las próximas intervenciones a pozos, por lo que se implementa un programa en el cual se resaltan las actividades que se van a estar llevando a cabo en el semestre siguiente inmediato y los contratistas que estarán prestando sus servicios, esto con la finalidad de que tanto la empresa operadora como los contratistas tengan conciencia de los insumos, tiempos de traslado, personal, capacitaciones, e inspecciones de equipos para cumplir con la entrega de EMS en tiempo y forma.

### 1.6.3. Humana

Es la probabilidad de que una persona logre su objetivo bajo restricciones ambientales y de tiempo particulares. Al elegir, integrar, capacitar y cuidar cuidadosamente al personal a lo largo de su vida, los componentes de la confiabilidad humana buscan establecer altos estándares de desempeño humano para diseñar, operar y mantener las instalaciones operativas de manera segura y confiable. Es importante reconocer y gestionar las variables que aumentan la probabilidad de error humano, lo que da como resultado un rendimiento deficiente, fallas en los equipos y seguridad inadecuada en los procedimientos y diseños.

Sólo con el impulso del liderazgo hacia la integración de metodologías y mejores prácticas, pensamiento estructurado, motivación, con ciclo de vida profesional y desarrollo organizacional se puede lograr la confiabilidad humana. A su vez, la implementación sistemática de la gestión del cambio en lo que se refiere al personal asegura que el conocimiento adquirido sea maximizado por y para toda la organización.<sup>(31)</sup>

### SSPA.

El Anexo "SSPA" forma parte de los documentos técnico-administrativos de los procedimientos de contratación de obra, adquisiciones, arrendamientos o servicios, incluyendo los contratos de servicios múltiples, así como de cualquier instrumento de contratación cuando impliquen acceso, servicios o actividades por parte del personal de proveedores o contratistas en instalaciones operativas, siendo dichas instalaciones las que se definen en el propio anexo "SSPA".

### 1.6.4. Proceso

La confiabilidad del proceso se refiere a la probabilidad de que el proceso produzca el producto requerido dentro del plazo especificado y bajo las condiciones predefinidas de calidad, cantidad, seguridad, salud del personal, costos y seguridad del proceso.

Para operar de manera segura, exitosa, confiable y sostenible a lo largo del ciclo de vida del activo, la confiabilidad del proceso es fundamental para determinar el rango óptimo de operación. Este rango se conoce como la "ventana operativa", cuyas dimensiones son establecidas mediante un análisis de costo, riesgo y beneficio. Operar dentro de la "ventana operativa" implica un nivel de riesgo aceptable en condiciones normales, mientras que operar fuera de los límites de esta ventana puede exponer a la operación a riesgos visibles.<sup>(32)</sup>

<sup>(31)</sup> Adaptado de Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.

<sup>(32)</sup> Idem.

Los KPI son esenciales para este propósito porque le permiten seguir el progreso de los parámetros del activo dentro de la ventana operativa, así como la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo a lo largo del ciclo de vida del activo

### KPI's.

Los indicadores de rendimiento son herramientas que ayudan a medir si una empresa se está desempeñando de acuerdo con sus objetivos. Los KPI brindan información cuantitativa sobre el logro o el resultado de la entrega de bienes, servicios o servicios en términos de volumen o efectividad. Un indicador clave de rendimiento (KPI) es una medida del rendimiento.

**KPI**, del inglés "*Key Performance Indicators*", o Indicadores Clave de Desempeño, miden el nivel del desempeño de un proceso, enfocándose en el "cómo" e indicando qué tan buenos son los procesos.

Los KPI son indicadores financieros o no financieros que se utilizan para calcular objetivos que muestran el desempeño de una organización, generalmente incluidos en su estrategia. Los indicadores son necesarios para poder mejorar, puesto lo que no se mide no se puede controlar, y lo que no se controla no se puede gestionar.

Los KPI son "herramientas de comunicación" que permiten a la alta dirección comunicar la misión y la visión de la empresa a los niveles más bajos, incluidos todos los empleados, para lograr los objetivos de la empresa. <sup>(33)</sup>

### Proceso de Selección de KPI's.

Si bien cada empresa tiene sus propios KPI, las métricas comunes incluyen la productividad de los empleados, la calidad de los productos y servicios, la eficiencia comercial, la finalización a tiempo, la satisfacción de la administración, los plazos de entrega, el desarrollo de proyectos y la utilización de recursos, crecimiento, gestión de costos, nivel de innovación y proceso de innovación.

En términos generales, los indicadores ampliamente utilizados ayudan a las organizaciones a comprender si los recursos y los fondos se están administrando adecuadamente y ayudan a los gerentes a comprender claramente la situación en un momento específico y hacer las correcciones oportunas.

Por supuesto, planificar correctamente los KPI en una organización es difícil, porque el principal problema no es elegir indicadores que ayuden a alcanzar las metas financieras, sino lo más importante, encajar en el plan y objetivos de la empresa. <sup>(34)</sup>

<sup>(33)</sup> Adaptado de Universidad Continental, "Implementación de un plan de mejora con el uso de KPI's en los procesos de gestión comercial para la fuerza de ventas de las distribuidoras ferreteras de Arequipa para el 2019 (1.a ed.)", Francisco Nájjar Navarro, 2019.

<sup>(34)</sup> Ídem.

Por lo anteriormente expuesto, cuando se definen los KPI'S se suele aplicar el acrónimo SMART, ya que los indicadores tienen que ser:

- **E**specíficos (**S**pecific)
- **M**edibles (**M**easurable)
- **A**lcanzables (**A**chievable)
- **R**ealista (**R**ealistic)
- **A** Tiempo (**T**imely)

### Clasificación de Indicadores.

Los indicadores se clasifican en dos grandes grupos: Por el ámbito de control y en función de sus dimensiones.

- **Ámbito de control:**

- **Insumos.** - Son los recursos que la organización tiene disponible para lograr un producto o resultado. Ej. Colaboradores, recursos materiales.
- **Procesos.** - Formas en que el trabajo es realizado, actividades necesarias para realizar el producto. Ej. Procesos de Administración, procedimientos de compras.
- **Productos.** - Representan los productos o servicios generados en un determinado sistema o proceso. Mide el volumen de producción que se ha alcanzado durante un periodo de gestión. Ej. Unidades producidas, Personal contratado.
- **Resultados.** - Impacto final que se alcanza, cuando los productos o servicios cumplen con su fin. Ej. Satisfacción de clientes, incremento de ventas. <sup>(35)</sup>

<sup>(35)</sup> Adaptado de Universidad Continental, "Implementación de un plan de mejora con el uso de KPI's en los procesos de gestión comercial para la fuerza de ventas de las distribuidoras ferreteras de Arequipa para el 2019 (1.a ed.)", Francisco Nájjar Navarro, 2019.

- **Función de sus dimensiones:**

- **Eficacia.** - Miden el grado de cumplimiento de los objetivos de la organización, sin referirse al costo de los mismos.
- **Eficiencia.** - Sirven para evaluar los costos por unidad de servicios o bienes producidos.
- **Calidad.** - Miden las características técnicas del producto o servicio entregado, así como también la proporción del producto que cumple con los requisitos del Cliente.
- **Economía.** - Miden la capacidad de la empresa para movilizar adecuadamente sus recursos financieros.
- **Ecología.** - Miden el grado de contaminación o polución liberado al Ambiente en cada etapa del proceso productivo y generación de productos.

Estos elementos tienen como objetivo proveer al sistema de confiabilidad de una serie de aspectos de tipo administrativo que permiten establecer las bases y soportan su funcionamiento. Se consideran como una especie de engranes para que opere el Sistema, el tablero, las metodologías y mejores prácticas de confiabilidad. <sup>(36)</sup>

<sup>(36)</sup> Adaptado de Universidad Continental, "Implementación de un plan de mejora con el uso de KPI's en los procesos de gestión comercial para la fuerza de ventas de las distribuidoras ferreteras de Arequipa para el 2019 (1.a ed.)", Francisco Nájjar Navarro, 2019.

## CAPÍTULO 2

### Análisis de indicadores de cumplimiento de un caso de estudio en el campo BEK de confiabilidad operativa

Durante la planificación de los programas de perforación de pozos, se emplean guías y procedimientos predefinidos que detallan las actividades a llevar a cabo durante la intervención. Esta práctica se realiza con el propósito de asegurar el cumplimiento de la normativa vigente y alcanzar los objetivos de confiabilidad operativa previamente establecidos.

El listado completo de las guías y procedimientos utilizados para la elaboración del programa del caso de estudio se encuentra detallado en el anexo adjunto al presente trabajo.

#### 1.1. Características del caso de estudio

Para la descripción del caso de estudio es importante la definición del objetivo y la columna geológica que va a ser utilizada como marco teórico para la ejecución de la evaluación de eficiencias en las actividades de perforación.

##### 1.1.1. Objetivo de la intervención

Incorporar producción comercial de aceite ligero del yacimiento arenas del jurásico superior oxfordiano del campo BEK mediante la perforación y terminación de un pozo de tipo horizontal con una producción inicial de 3,000 bpd.

### 1.1.2. Columna geológica

Se propone la siguiente columna geológica probable para el análisis de actividades de perforación del caso de estudio, en este caso el pozo Holka-32, realizada en el equipo de perforación Holka-A en el campo BEK.

Unidad litológica (Edad/Formación)	Prof. (m.d.)	Prof. (m.v.b.m.r)	Esp. Mv.	Litología
Mioceno Superior	509	508	1447	Lutita gris claro a verdoso, suave plástica y calcárea, intercaladas con delgadas capas de areniscas de grano fino a medio cementadas con material arcillo calcáreo, se observan niveles de restos de moluscos.
Mioceno Medio	1976	1955	320	Lutita gris claro y gris verdoso, suave plástica, calcárea y ligeramente arenosa, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino a medio cementadas en material arcillo-calcáreo.
Mioceno Inferior	2301	2275	215	Lutita gris claro y gris verdoso ligeramente bentonítico, en partes gris oscuro suave a semidura, ligeramente calcárea.
Oligoceno Superior	2519	2490	30	Lutita gris a gris verdoso de aspecto bentonítico, semidura, ligeramente calcárea con trazas de bentonita verde olivo.
Oligoceno Medio	2549	2520	145	Lutita gris verdoso suave a semidura, en partes de aspecto bentonítico y ligeramente arenosa; trazas de bentonita verde; pirita diseminada.
Oligoceno Inferior	2695	2665	47	Lutita gris verdoso de aspecto bentonítico suave a semidura; trazas de bentonita gris verdoso suave; esporádicos fragmentos de mudstone blanco a crema compacto.
Eoceno Superior	2742	2712	31	Lutita gris verdoso de aspecto bentonítico suave a semidura, calcárea; trazas de bentonita blanca y gris verdoso, suave; esporádicos fragmentos de mudstone blanco a crema de aspecto cretoso.
Eoceno Medio	2773	2743	147	Lutita gris claro a gris oscuro, semidura, calcárea de aspecto bentonítico; trazas de mudstone crema claro, semiduro. En la parte inferior wackestone a packstone de clastos y bioclastos crema claro semiduro y semi compacto, intercalados por lutita gris claro a gris verdoso, semidura, de aspecto bentonítico y calcárea.
Eoceno Inferior	2920	2890	80	Lutita gris claro-semidura calcárea y bentonítica; trazas de mudstone crema claro semiduro.
Paleoceno Superior	3000	2970	45	Lutita gris claro a gris verdoso, semidura, en partes bentonítica y ligeramente calcárea. Se presentan porcentajes bajos de bentonita gris verdoso.
C.C.P. S	3045	3015	120	Secuencia dominada por Packstone (Calcarenitas) de foraminíferos, color café claro a crema, semi compacto a compacto, en partes micro fracturados, ligeramente dolomitizado. Se encuentran intercalados por finas capas de lutita gris verdosa, calcárea y semi compacta.

Unidad litológica (Edad/Formación)	Prof. (m.d.)	Prof. (m.v.b.m.r)	Esp. Mv.	Litología
Paleoceno Inferior	3165	3135	10	Lutita gris y gris claro, semidura y calcárea con menores intercalaciones de mudstone wackestone café claro y café oscuro, semi compacto, ligeramente dolomitizado. La presencia de carbonatos aumenta a medida que está más en contacto con el Cretácio superior.
Brecha Cretácico Superior	3175	3145	290	Brecha sedimentaria constituida por fragmentos de Mudstone a wackestone café claro a crema, compacto, parcialmente dolomitizado con porosidad secundaria en microfracturas. Dolomía micro y mesocristalina, café, café claro a crema y gris, en partes de textura sacaroide, compacta, se observan fragmentos con impregnación de aceite.
Cretácico Medio	3465	3435	160	Dolomías de color gris claro a café claro, microcristalina y mesocristalina, con porosidad secundaria intercristalina, presenta pirita diseminada. Se intercalan con capas de lutita gris verdoso de aspecto bentonítico y calcárea.
Cretácico Inferior	3625	3595	125	Dolomía microcristalina y mesocristalina, café, café claro a crema y gris, en partes de textura sacaroide, compacta. Presentan escasas microfracturas. Se presenta pirita diseminada
Jurásico Superior Tithoniano	3750	3720	110	En la parte superior corresponde a una secuencia de dolomía café claro, crema y gris verdoso, microcristalina, con porosidad secundaria intercristalina. Su parte media e inferior corresponde a una secuencia de lutitas café oscuro a negra semidura, con micro bandeamientos de calcita blanca, intercaladas con mudstone y wackestone de planctónicos, café y café oscuro, arcillosas en partes de carácter cretoso, parcialmente dolomitizado
Jurásico Superior Kimmeridgian o	3862	3830	148	Dolomía café claro y crema, microcristalina con porosidad intercristalina, escasas microfracturas (algunas selladas por calcita) y porosidad en micro cavidades por disolución. Se presentan intercalaciones de lutita gris verdoso, suave a semidura, bentonítica.
J.S.K.-B	4018	3978	297	Lutita gris verdosa, semidura, bentonita y ligeramente calcárea.
J.S.O	4393	4275	35	Lutita gris claro y gris verdoso, bentonítica de aspecto limolítico y calcárea, con intercalaciones de arenisca de cuarzo gris claro de grano fino cementada con material arcillo-calcárea. Lutita café a café oscuro, limolítica, ligeramente calcárea y capas de mudstone café claro a crema.
Anhidrita Superior	4464	4310	50	Anhidrita blanca y crema, suave, en partes traslucida y de aspecto masivo, intercalada por capas de lutita gris claro, de aspecto bentonítico y ligeramente calcárea
Arenas JSO	4567	4360	159	Arena de cuarzo, gris claro, café claro y gris verdoso de grano fino a medio, escasamente cementada por calcita y anhidrita, con buena porosidad primaria intergranular con intercalaciones laminares de limonita café rojizo y bentonita verde claro.
Profundidad Total	5359	4519		

Tabla 1. Columna geológica esperada.

### 1.1.3. Descripción estructural

Los eventos tectónico-estructurales principales que afectaron el área de estudio del campo a través de todos los diferentes niveles estratigráficos se enlistan en tres principales:

- El evento extensivo durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior, originando fallas de crecimiento.
- Evento de evacuación de sal formando una estructura de tipo pared que controla la sedimentación de todo el Jurásico Superior e inclusive el Cretácico y llegando a afectar hasta el nivel del Paleoceno.
- Evento extensivo del Mioceno Superior al Plioceno-Pleistoceno, con la formación de las Cuencas de Macuspana y Comalcalco.

La interpretación estructural del Campo a nivel de las arenas del JSO (rocas objetivo), corresponde a una estructura de tipo anticlinal, con el eje principal orientado hacia el NW-SE, que fue intrusionada por un domo salino.

El pozo propuesto pasará a lo largo de las diferentes unidades estratigráficas presentes en el campo BEK a nivel terciario no se observan fallas por las cuales perfora el pozo, se espera un asentamiento dentro del paleoceno superior sin problemáticas desde el aspecto geológico – estructural y con buena correlación, ya que en esa zona se cuenta con gran cantidad de pozos perforados.

El marco estructural del campo BEK en el Jurásico Superior Oxfordiano (JSO), está definido por un anticlinal alargado en dirección NW-SE que en su porción central presenta una intrusión salina.

Desde el punto de vista estructural no se observa algún riesgo en la propuesta del pozo, a nivel del yacimiento principal incertidumbre es la variación de los espesores de las arenas.

Cabe mencionar que el pozo se ubica en una zona cercana al límite de bloque Sur del campo y que los pozos perforados previamente han presentado problemas durante la perforación, ya que hay presencia de variaciones de valor en la impedancia asociada al límite con el bloque sur del campo.

### 1.2. Programa de intervención del pozo

Para dar inicio con la descripción del programa de perforación es importante definir y reafirmar algunos conceptos básicos a cerca de la perforación de pozos, así como de definiciones importantes con la finalidad de tener una visión más clara de las actividades que se van a realizar durante las operaciones en el campo.

### 1.2.1. Conceptos básicos

#### Sarta de perforación

La sarta de perforación se define como una sección que agrupa un conjunto de herramientas entre la barrena y la tubería de perforación. Tiene como función dar peso a la barrena maximizando la tasa de penetración, evitar desviaciones, minimizar vibraciones y evitar pegaduras.

- **Tubería de perforación (TP):** Se instala inmediatamente arriba de la tubería pesada (heavy weight) o lastra-barrenas. Sus características son: diámetro, peso, grado, resistencia y longitud.
- **Tubería pesada (heavy weight):** Se instala inmediatamente debajo de TP. Es la transición entre las lastra-barrenas y la TP para evitar daños aportando peso a la barrena. Ayuda a dar tensión a la TP y aporta peso a la barrena.
- **Drill collar (DC):** Tubería que se instala arriba de la barrena proporcionando peso, su rango va desde 3" a 12" (7.6 cm a 30.4 cm), su longitud promedio es de 9.5 metros.
- **Estabilizadores:** Dan firmeza y seguridad al ensamblaje de fondo, evitando contacto con las paredes del agujero, controlando la desviación del pozo. Su ubicación depende del desempeño que se requiera, en cuanto a trayectoria se refiere.

Accesorios implementados en las sargas de perforación:

- **Amortiguador:** Absorbe y minimiza vibración de sarta, va por encima de la barrena.
- **Martillo:** Proporciona energía de impacto en las sargas atascadas, se localiza entre HW a tensión.
- **Acelerador:** Incrementa energía del martillo, se localiza en junta por encima del martillo.

**Motores:** Suministran rotación de fondo (perforación direccional) y va sobre la barrena y por MWD: medición de parámetros de fondo en tiempo real, se localiza por encima de la barrena y/o amortiguador o motor. <sup>(37)</sup>

#### Fluidos de perforación.

El uso general que se le da a la definición de fluidos de perforación, el cual es cualquier serie de fluidos líquidos y gaseosos y mezclas de fluidos utilizadas en operaciones de perforación de pozos de sondeo en la tierra, se basa únicamente en la composición del lodo distinguiendo el componente con claridad la función y el rendimiento del fluido. Estos fluidos pueden categorizarse por la fase continua o la base en la que estos se van a generar, ya sea base agua, base aceite o neumático.

<sup>(37)</sup> Adaptado de Alarcón Zamora Aldo Alan, "Manual técnico de perforación en aguas someras", Facultad de ingeniería, U.N.A.M, 2021.

<sup>(38)</sup> Adaptado de J. Smith y A. Johnson, "Avances en la tecnología de fluidos de perforación y emulsión inversa," Rev. Ing. Petrol., vol. 10, no. 2, pp. 45-58, 2020. DOI: 10.1234/ingenieriapetrolera.

<sup>(39)</sup> Adaptado de PEMEX Exploración y Producción, "Cementación de pozos petroleros: criterios y fundamentos."

## Emulsión inversa

Una emulsión es la que el aceite es la fase continua o externa y el agua es la fase interna. Emulsión inversa normalmente se refiere a un lodo a base de aceite y los términos se consideran sinónimos. Los lodos de emulsión inversa pueden tener de 5 a 50% de agua en la fase líquida, aunque hay sistemas que son 100% aceite. <sup>(38)</sup>

## Cementaciones.

La cementación es la operación efectuada en un pozo petrolero donde se mezcla y desplaza una lechada de cemento para proteger la estabilidad entre tubería de revestimiento y entre el agujero, entre tuberías intermedias y de producción, pero especialmente con la formación, este sucede con el fin de cumplir los siguientes objetivos:

- Crear un aislamiento en acuíferos y zonas productoras con formaciones de alta o baja presión.
- Proveer soporte a la TR dentro del pozo.
- Proteger el agujero de posibles colapsos.
- Proteger TR de corrosión.
- Formar sello hidráulico entre TR y formación.
- Impedir que existan filtraciones de la formación. <sup>(39)</sup>

<sup>(37)</sup> Adaptado de Alarcón Zamora Aldo Alan, "Manual técnico de perforación en aguas someras", Facultad de ingeniería, U.N.A.M, 2021.

<sup>(38)</sup> Adaptado de J. Smith y A. Johnson, "Avances en la tecnología de fluidos de perforación y emulsión inversa," Rev. Ing. Petrol., vol. 10, no. 2, pp. 45-58, 2020. DOI: 10.1234/ingenieriapetrolera.

<sup>(39)</sup> Adaptado de PEMEX Exploración y Producción, "Cementación de pozos petroleros: criterios y fundamentos."

## Perforación direccional.

Previo a la perforación del pozo, es importante definir la trayectoria que tomara el mismo, por lo que una vez que se cuenta con la información necesaria del destino que se quiere alcanzar, se debe realizar el diseño, y posteriormente, la evaluación de la trayectoria direccional del pozo. Esto quiere decir que aparte del diseño de las trayectorias, se debe verificar durante su proceso de planeación de la perforación del pozo su trayectoria sea de acuerdo con el plan, y si es necesario, corregirla. <sup>(40)</sup>

Después de perforar el pozo, debe analizarse cuando el método de perforación esté disponible y esta información debe usarse para proporcionar retroalimentación para futuros pozos. Por lo tanto, la metodología se resume en los siguientes pasos o puntos:

### A. Recopilación de información.

Este proceso es importante en la planificación y construcción de pozos petroleros. Actualmente, se utilizan diversas fuentes para obtener los datos necesarios para implementar el proceso de fabricación. Por lo general, esta información proviene de programas de perforación originales, propuestas de empresas, proyectos de ingeniería y registros de perforación. Los datos necesarios para aplicar el proceso de determinación y evaluación de la trayectoria de pozo son:

- Localización del equipo.
- Coordenadas del objetivo.
- Columna geológica programada.
- Columna geológica por atravesar dependiendo la trayectoria.
- Características de la formación.
- Dirección del mínimo esfuerzo en la formación.
- Desplazamiento horizontal que existe desde el equipo hasta el objetivo.
- Profundidad de inicio de desviación.
- Profundidad vertical del objetivo.
- Programa de cómputo con que se cuenta para la simulación.
- Ritmo de incremento de ángulo (severidad).
- Tipo de trayectoria.

<sup>(40)</sup> Adaptado de PEMEX, "Guía Práctica para el Diseño de la Perforación Direccional y Control de la Desviación," Perforación y Mantenimiento de Pozos.

<sup>(41)</sup> Idem.

## B. Determinación de trayectoria.

Este es el primer paso en la planeación de cualquier pozo direccional, el cual consiste en determinar la trayectoria que permita intersecar los objetivos programados. Para este caso es importante considerar restricciones geológicas y económicas del pozo a ser perforado. Por lo tanto, la selección del tipo de trayectoria dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Características de la estructura geológica.
- Espaciamiento entre pozos.
- Profundidad vertical.
- Desplazamiento horizontal del objetivo.

## C. Evaluación de trayectoria.

La mejor manera de determinar la dirección del pozo es instalar un enlace y algún tipo de dispositivo de medición para determinar cómo se mueve y controlar la profundidad (estación) y calcular la dirección desde allí. Es muy importante saber que los valores de inclinación y dirección pueden obtenerse a profundidades preseleccionadas.

Existen diversos métodos de cálculo para determinar la trayectoria del agujero, entre los cuales:

1. Método tangencial: considera líneas rectas entre estaciones.
2. Método de ángulo promedio: considera un promedio de líneas para diferentes ángulos que unen a las estaciones.
3. Método de radio de curvatura: considera una línea curva suavizada para unir a las estaciones.
4. Método de mínima o máxima curvatura: considera una línea curva suavizada con un factor de severidad a la desviación, conocido también como factor a la "pata de perro"

La principal diferencia entre estos métodos es que un conjunto usa líneas rectas, mientras que el otro asume que la fuente es curva, pareciendo una parte curva. Entre los cuatro métodos, el método de curvatura larga y el método de reducción mínima resultaron ser los más precisos y, por lo tanto, son los más utilizados. <sup>(41)</sup>

<sup>(40)</sup> Adaptado de PEMEX, "Guía Práctica para el Diseño de la Perforación Direccional y Control de la Desviación," Perforación y Mantenimiento de Pozos.

<sup>(41)</sup> Idem.

## D. Control de trayectoria.

Para la perforación direccional es sumamente importante contar con las herramientas desviadoras adecuadas, así como con las barrenas, herramientas auxiliares y la instrumentación apropiada. Las herramientas desviadoras son el medio para iniciar o corregir la deflexión de la trayectoria del pozo. Podemos clasificar las herramientas en tres grupos:

- Desviadores de pared.
- Barrenas de chorro.
- Motor de fondo.

El inicio de la desviación de la trayectoria (KOP), resulta una etapa crítica durante la perforación de un pozo direccional, ya que un inicio correcto de la desviación dará la pauta para lograr un desarrollo satisfactorio de la trayectoria. La perforación direccional ha ido evolucionando y con ello, las herramientas desviadoras han sufrido cambios en su diseño. Actualmente, en la perforación de pozos direccionales las herramientas más utilizadas son los motores de fondo dirigibles o sistemas rotatorios geo-navegables. <sup>(42)</sup>

## Programa de actividades.

El desarrollo de un plan de acción implica muchos pasos. A menudo se usa para referirse a un plan hecho para un proyecto.

La finalidad del trabajo o planificación es tener en claro el programa que se va a seguir, así como tener claro la organización del trabajo en curso. Para la elaboración de un cronograma de actividades se realizan los siguientes pasos:

### Recopilar la información clave para la elaboración del cronograma.

Es importante entender el alcance del proyecto, los requisitos y todas las condiciones que lo indican, las fechas de inicio y fin, o entregables aprobados, e identificar obstáculos y posibles problemas.

### Identificar y definir las actividades.

Después de analizar los resultados, es importante saber qué acciones se tomarán para definir claramente el propósito y el alcance de la solicitud de cada individuo. Estos proyectos requieren una planificación cuidadosa, una planificación cuidadosa, teniendo en cuenta todos los riesgos que puede enfrentar el proyecto.

<sup>(42)</sup> Adaptado de PEMEX, "Guía Práctica para el Diseño de la Perforación Direccional y Control de la Desviación," Perforación y Mantenimiento de Pozos.

<sup>(43)</sup> G. M. Tello Bravo, "Diseño e implementación de tiempos estándares para la mejora de la productividad en Jomsatel s.a.c. (1.a ed.)", 2020.

Secuenciar las actividades.

Dado que algunas tareas dependen directamente de otras tareas, es importante comprender la secuencia de eventos y considerar qué otras tareas se pueden ejecutar en secuencia.

Establecer los recursos necesarios para cada actividad.

Es importante considerar los recursos financieros para obtener los materiales y el personal necesarios para el trabajo. El saber no solo qué recursos requerirá cada proyecto, sino también quién hará el trabajo y cuánto dinero estará involucrado es de gran relevancia.

Un pronóstico inválido retrasará y pondrá en peligro el proyecto.

Tiempo programado y límite técnico.

Una vez que se define cada tarea, es importante calcular la duración de cada tarea, teniendo en cuenta el tiempo programado y las limitaciones técnicas, esto nos ayudará a comprender si el proyecto cumple con las mejores prácticas.

Distribuir las actividades.

Cada miembro o grupo en el proyecto debe ser responsable de varias tareas de acuerdo con su propia condición y conocimiento. Es importante que los empleados estén capacitados para realizar las tareas laborales que se les asignen y que estén capacitados para manejar situaciones de riesgo.

Seguimiento del cronograma.

Una vez elaborado el cronograma, debe ser revisado constantemente y mejorado siempre que sea posible.<sup>(43)</sup>

<sup>(42)</sup> Adaptado de PEMEX, "Guía Práctica para el Diseño de la Perforación Direccional y Control de la Desviación," Perforación y Mantenimiento de Pozos.

<sup>(43)</sup> G. M. Tello Bravo, "Diseño e implementación de tiempos estándares para la mejora de la productividad en Jomsatel s.a.c. (1.a ed.)", 2020.

### 1.2.2. Programa operativo: Fluidos de perforación

Para realizar la perforación y terminación de las etapas de perforación se tiene la siguiente tabla con los fluidos programados para cada etapa después de haber realizado un análisis de ventana operativa.

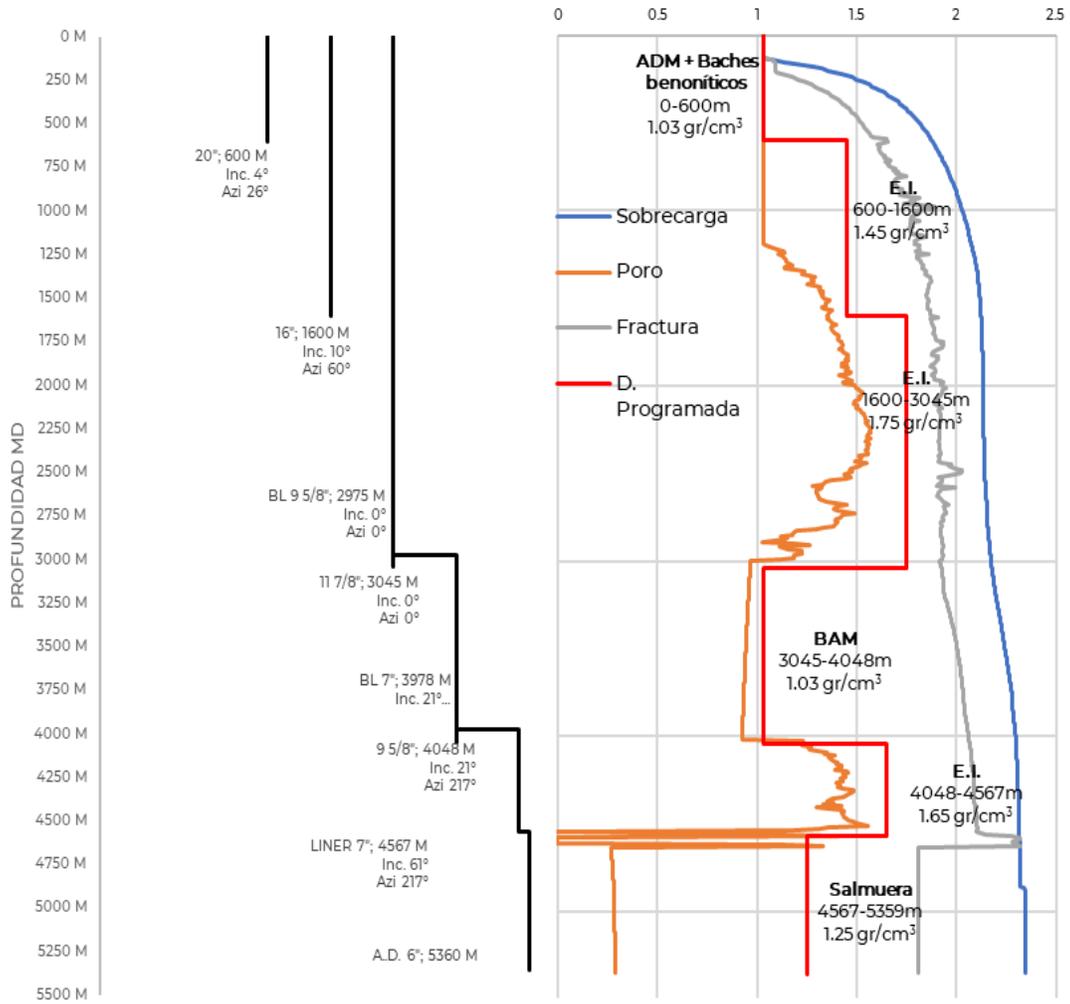


Ilustración 4. Ventana operativa de fluidos de perforación y asentamientos de TR.

Haciendo la relación con la ventana operativa previamente mostrada, la selección de fluidos de perforación es la siguiente:

Prof. (mD)	Barrena (pg)	Tipo fluido	Den. g/cm <sup>3</sup>	Visco. (s)	Filtr. (ml)	MBT (kg/m)	Rel. Ac/Ag	Sólidos (%)	Vp (cp)	Yp (lb/100ft <sup>2</sup> )
90-	26"	Agua de mar y Baches de fluido Bentonítico Polimérico	1.03-1.06	≥120	≤15	>50	N.A	6 - 14	12- 22	30-40
600		Bache empacante de fluido Bentonítico polimérico Inhibido	1.15-	80- 100	≤10	>40	N.A	8 - 14	14- 24	15-32
600-1600	18 ¼"	Emulsión Inversa	1.45	50-65	≤4	N.A	80/20-85/15	16- 23	21- 33 27- 39	18-23
1600-3041	14 ½"	Emulsión Inversa	1.75	65-85	≤3	N.A	80/20-85/15	26- 32	10- 18 27- 36	18-26
3041 - 4051	10 5/8"	BAM	1.03	50-120	<8	<10	N.A.	<4	10-20 12- 22	24-34
4051 - 4637	8 ½"	Emulsión Inversa	1.65	50-65	<4	NA	80/20-85/15	23- 28	14- 24 21- 33	16-24
4637 - 5440	6 ½"	Fluido Limpio	1.25	50 - 90	<4	NA	N.A.	13- 20	27- 39	22-34

Tabla 2. Características de fluidos programados por intervalo de perforación.

1.2.3. Programa operativo : Barrenas por etapa

Diámetro	Litología	Intervalo ROP	Barrenas Propuestas		Parámetros de perforación e hidráulica			
			Principal:	Tipo		Min	Max	
26"	lutita gris claro, calcárea, ligeramente arenosa	510 m	Principal:					Tipo de fluido: Base agua de mar + baches bentoníticos.
			BNA TRICÓNICA		Peso (ton)	2	14	Densidad: 1.03 g/cm <sup>3</sup>
		40 m/hr			Rotación (rpm)	30	50	TFA: 1.022 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	600	1,000	Toberas: 3X18 + 1X19
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	0.18	0.81	
	JIF (lbf)	503	1,396					
18 1/4"	lutita gris claro, calcárea, ligeramente arenosa	1,000 m	Principal:					Tipo de fluido: emulsión inversa
			BNA PDC		Peso (ton)	2	15	Densidad: 1.45 g/cm <sup>3</sup>
		49 m/hr			Rotación (rpm)	120	170	TFA: 0.82 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	650	700	Toberas: 8x10+1x11 + 1X12
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	1	1.25	
	JIF (lbf)	1,039	1,205					
14 1/2"	lutita gris claro y gris verdoso en partes bentonítico y ligeramente cacarea	1,445 m	Principal:					Tipo de fluido: Emulsión inversa
			BNA PDC		Peso (ton)	2	17	Densidad: 1.75 g/cm <sup>3</sup>
		40 m/hr			Rotación (rpm)	120	170	TFA: 1.1 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	640	680	Toberas: 8x12 +1x11 + 1X13
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	0.99	1.19	
	JIF (lbf)	896	1,014					
10 5/8"	Mudstone a wackestone, brecha de fragmentos de mudstone, dolomía	1,003 m	Principal:					Tipo de fluido: Base agua de mar
			BNA PDC		Peso (ton)	2	15	Densidad: 1.03 g/cm <sup>3</sup>
		10 m/hr			Rotación (rpm)	120	170	TFA: 0.77 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	425	466	Toberas: 2X9 + 5X10
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	1.52	2	
	JIF (lbf)	508	610					
8 1/2"	Lutita, arenisca gris claro de grano fino, lutita arenosa, anhidrita.	519 m	Principal:					Tipo de fluido: Emulsión inversa
			BNA PDC		Peso (ton)	1	11	Densidad: 1.25 g/cm <sup>3</sup>
		8 m/hr			Rotación (rpm)	100	180	TFA: 1.33 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	420	465	Toberas: 7x12
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	1.58	2.15	
	JIF (lbf)	522	639					
6"	Arenisca, lutita arenosa	793 m	Principal:					Tipo de fluido: Thixsal
			BNA PDC		Peso (ton)	1	7	Densidad: 1.25 g/cm <sup>3</sup>
		9 m/hr			Rotación (rpm)	120	170	TFA: 1.33 in <sup>2</sup>
					Flujo (gpm)	270	300	Toberas: 3X16 + 3X18 PF
					HSI (HP/in <sup>2</sup> )	0.21	0.29	
	JIF (lbf)	95	117					

Tabla 3. Características de barrenas para perforación de pozo.

1.2.4. Programa operativo: Sartas de perforación

El diseño de las sartas de perforación del proyecto pozo está basado en el “Guía operativa única para diseño y selección de tubulares para intervenciones a pozos”.

Etapa TR 20”

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
13	TP 5", °G - 105, 19.5 lb/p	1	5	4	6	270.6	270.6	510
12	TP HW 5"	15	5	3	6.63	9	135	239.4
11	Combinación P) 7 5/8" Reg x C) XT - 50	1	8	2.81	8	0.91	0.91	104.4
10	Drill Collar 9 1/2"	3	8	2.81	8	9	27	103.48
9	Martillo hidráulico 9 1/2"	1	8	3	8	10.06	10.06	76.48
8	Drill Collar 9 1/2"	3	8	2.81	8	9	27	66.42
7	Válvula de contrapresión Monel 9 1/2"	1	9.5	2	9.5	0.91	0.91	39.42
6	Drill Collar monel (antimagnético) 9 1/2"	1	9.5	3	9.5	9	9	38.51
5	MWD 9 1/2"	1	9.5	2.75	9.5	6.9	6.9	29.51
4	Drill Collar 9 1/2"	1	9.5	3.75	9.5	9	9	22.61
3	Estabilizador 9 1/2" x 25 3/4"	1	9.5	2.5	25.75	2.13	2.13	13.61
2	Motor de fondo 9 1/2"	1	11.25	2.5	25.75	10.49	10.49	11.48
1	Barrena Ticomica 26"	1	26	4.69	26	0.99	0.99	0.99

Tabla 4. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 20".

Etapa TR 16”.

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
14	TP 5", 19.5 lb/p, °G - 105	1	5	4	6	9.6	9.6	262.9
13	TPHW 5"	15	5	3	6.63	9	135	253.31
12	Combinación P) 6 5/8" Reg x C) XT – 50	1	7.75	2.81	7.75	0.86	0.86	118.31
11	Drill Collar 8"	3	8	2.81	8	8.92	26.76	117.45
10	Martillo 8"	1	8	3	8	9.6	9.6	90.69
9	Drill Collar 8"	6	8	2.81	8	8.8	52.82	81.09
8	Filtro de fondo 8"	1	8	1.5	8	0.91	0.91	28.27
7	VCP 8"	1	7.75	2.81	8	0.94	0.94	27.35
6	Estabilizador 8" x 15 3/4"	1	8.25	2.81	18	2.13	2.13	26.41
5	Combinación Monel 8"	1	8.25	1.5	8.25	0.91	0.91	24.28
4	Drill Collar Monel 8"	1	9.5	3	9.5	9.	9	23.37
3	MWD 8"	1	9.5	2.75	9.5	6.9	6.9	14.37
2	Sistema Rotatorio 8" x 15 3/4"	1	11	1.19	18	6.99	6.99	7.47
1	Barrena PDC 16"	1	18.25	1.75	18.25	0.48	0.48	0.48

Tabla 5. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 16”.

Etapa TR 11 7/8".

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
16	TP 5", 25.6 lb/p, °S – 135	1	5	3.5	6	9.6	9.6	2,806.63
15	TP 5", 19.5 lb/p, °G – 105	264	5	4	6	9.6	2,533.38	2,797.03
14	TPHW 5"	15	5	3	6.63	9	135	263.66
13	Combinación P) NC – 50 x C) XT – 50	1	8	2.81	8	0.91	0.91	128.66
12	Drill collar 6 1/2"	3	8	2.81	8	9	27	127.74
11	Martillo 6 1/2"	1	8	3	8	10.06	10.06	100.74
10	Drill collar 6 1/2"	6	8	2.81	8	9	54	90.69
9	Filtro de fondo 6 1/2"	1	8	2.81	8	0.91	0.91	36.69
8	VCP 6 1/2"	1	7.75	2.81	8	0.58	0.58	35.77
7	Estabilizador 6 1/2"	1	8	2.81	14.25	2.13	2.13	35.19
6	Drill collar Monel 6 1/2"	1	8	2.81	8	9	9	33.06
5	Combinación Monel P) 6 5/8" Reg x C) NC - 50	1	8.25	2.81	8.25	0.91	0.91	24.06
4	MWD 8"	1	8.25	2.75	8.88	6.91	6.91	23.15
3	LWD 8"	1	8.25	2.75	8.88	9.02	9.02	16.24
2	Sistema rotatorio 8" x 12"	1	9.5	1.06	14.25	6.92	6.92	7.22
1	Barrena PDC 12 1/4"	1	14.5	4.69	14.5	0.3	0.3	0.3

Tabla 6. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 11 7/8".

Etapa TR 9 5/8".

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
18	TP 5", 25.6 lb/p, °S – 135	1	5	3.5	6	9.6	9.6	2,751.22
17	TP 5", 19.5 lb/p, °G – 105	264	5	4	6	9.61	2,537.04	2,741.63
16	TPHW 5"	3	5	4	5	9.08	27.24	204.59
15	Combinación P) NC – 50 x C) XT – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.76	0.76	177.35
14	Martillo hidráulico 6 1/2"	1	6.5	2.75	6.5	10.06	10.06	176.59
13	Combinación P) XT – 50 x C) NC – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.76	0.76	166.53
12	TPHW 5"	12	5	4	5	9.08	108.96	165.77
11	Combinación P) NC – 50 x C) XT – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.91	0.91	56.81
10	Drill collar 6 1/2"	3	8	3	8	8.52	25.56	55.89
9	VCP 6 1/2"	1	7.75	3	7.75	0.72	0.72	30.33
8	Filtro de fondo 6 1/2"	1	8	3	8	1.53	1.53	29.61
7	Estabilizador 6 1/2" x 10 1/2"	1	8	3	10.5	1.44	1.44	28.08
6	Combinación Monel 6 1/2"	1	8	1.5	8	0.91	0.91	26.64
5	MWD 6 1/2"	1	8.25	2.75	8.88	6.91	6.91	25.73
4	LWD 6 1/2"	1	8.25	2.75	8.88	8.08	8.08	18.82
3	Sonda direccional integrada MWD 6 1/2"	1	8.25	2.75	8.25	3.77	3.77	10.74
2	Sistema Rotatorio 6 1/2" x 10 1/2"	1	8.25	0.81	10.38	6.69	6.69	6.98
1	Barrena PDC 10 5/8"	1	10.63	4	10.63	0.28	0.28	0.28

Tabla 7. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 9 5/8".

Etapa TR 7".

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
18	TP, 25.6 lb/p, °S – 135	1	5	3.5	6	9.6	9.6	2,776.91
17	TP, 19.5 lb/p, °G – 105	264	5	4	6	9.6	2,533.38	2,767.32
16	Combinación P) XT – 50 x C) NC – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.91	0.91	233.94
15	TPHW 5"	3	5	3	5	9.14	27.43	233.03
14	Combinación P) NC – 50 x C) XT – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.91	0.91	205.59
13	Martillo hidráulico 6 ½"	1	6.5	2.75	6.5	10.06	10.06	204.68
12	Combinación P) XT – 50 x C) NC – 50	1	6.5	2.81	6.5	0.91	0.91	194.62
11	TPHW 5"	15	5	3	5	9.14	137.16	193.71
10	Combinación P) NC – 50 x C) XT – 50	1	4.75	3	4.75	0.91	0.91	56.55
9	Drill collar 6 ½"	3	6.5	2.81	6.5	9	27	55.63
8	Filtro de fondo 6 ½"	1	6.75	1.5	6.75	0.91	0.91	28.63
7	VCP 6 ½"	1	6.75	2.38	6.75	0.5	0.5	27.72
6	Estabilizador 6 ½" x 8 ¼"	1	6.75	2.25	8.25	2.13	2.13	27.22
5	MWD 6 ½"	1	6.75	2	7.38	5.42	5.42	25.08
4	LWD 6 ½"	1	6.75	2	7.38	8.99	8.99	19.66
3	Sonda direccional integrada MWD 6 ½"	1	6.75	2	7.13	3.75	3.75	10.68
2	Sistema Rotatorio 6 ½" x 8 ¼"	1	6.75	0.81	8.38	6.64	6.64	6.93
1	Barrena PDC 8 ½"	1	8.5	1	8.5	0.29	0.29	0.29

Tabla 8. Arreglo de sarta de perforación para etapa TR 7".

Etapa AD 6".

General			Dimensiones			Longitud		
# ítem	Descripción	Qty	OD	Min ID	Max OD	longitud	Longitud total	Longitud total acumulada
			in	in	in	m	m	m
20	TP, 25.6 lb/p, °S – 135	1	5	3.50	6.000	9.60	9.60	4,038.95
19	TP, 19.5 lb/p, °S – 135	264	5	3.75	5.950	9.60	2,533.38	4,029.35
18	Combinación P) XT – 39 x C) XT – 50	1	6	1.50	6.000	0.91	0.91	1,495.97
17	TP 3 1/2", °X – 95 15.5 lb/p	69	3.5	2.44	4.490	9.53	657.75	1,495.06
16	TPHW 3 1/2"	3	3.5	2.25	4.250	9.45	28.35	837.31
15	Martillo hidráulico 4 3/4"	1	4.75	2.25	4.750	9.75	9.75	808.96
14	TPHW 3 1/2"	3	3.5	2.25	4.250	9.45	28.35	799.21
13	TP, 15.5 lb/p, °X – 95	53	3.5	2.44	4.490	9.53	505.23	770.86
12	TPHW 3 1/2"	3	3.5	2.25	4.250	9.45	28.35	265.63
11	Martillo hidráulico 4 3/4"	1	4.75	2.25	4.750	9.75	9.75	237.29
10	TPHW 3 1/2"	21	3.5	2.25	4.250	9.45	198.42	227.53
9	Combinación P) NC – 38 x C) XT – 39	1	4.75	2.00	4.750	0.91	0.91	29.11
8	Filtro de fondo 4 3/4"	1	4.75	2.00	4.750	0.91	0.91	28.19
7	VCP 4 3/4"	1	4.63	2.44	4.630	0.45	0.45	27.28
6	Estabilizador 4 3/4" x 5 7/8"	1	4.75	2.00	5.880	2.13	2.13	26.83
5	MWD 4 3/4"	1	4.75	1.25	5.290	5.29	5.29	24.69
4	LWD 4 3/4"	1	4.75	1.25	5.290	8.95	8.95	19.40
3	Sonda direccional integrada MWD 4 3/4"	1	4.75	1.25	5.940	3.77	3.77	10.45
2	Sistema rotatorio 4 3/4" x 5 7/8"	1	4.75	0.63	5.800	6.48	6.48	6.68
1	Barrena PDC 6"	1	6	2.25	6.000	0.20	0.20	0.20

Tabla 9. Arreglo de sarta de perforación para etapa AD 6".

### 1.2.5. Programa operativo: Cementaciones aplicables al caso de estudio

El diseño y revisión de las cementaciones cumple con la “Guía operativa única para diseño y seguimiento a la ejecución de la cementación de pozos”. Los resultados de las pruebas de laboratorio utilizadas para la elaboración del programa de cementaciones cumplen con las especificaciones de “Prácticas recomendadas para pruebas de cements para pozo”.

#### Cementación para etapa TR 20”

**Objetivos de la cementación:** Aislamiento de A.D. Cubrir zona de acuíferos.

Las características de la cementación se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de lechada	Diámetro agujero (pg)	Diámetro (pg)	Profundidad (MVBMR)	Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> )	Cima cemento (m)	Base cemento (m)	Gasto (BPM)	DEC máxima (g/cm <sup>3</sup> )
Única	26"	20"	599	1.6	LM	400	3-7-5-3	1.67

*Tabla 10. Características de cementación para la etapa TR 20”.*

#### Equipos y herramientas por utilizar

Para la realización de la cementación se utilizó la siguiente instrumentación:

- Zapata rimadora de 20”, X-52, 133 lb/pie.
- DrilQuip, cople flotador de 20”, k-55, 133 lb/pie
- DrilQuip, juego de tapones no rotatorios 20”, rack de tubería 2”
- Cabeza de cementar para TR 20” con combinación
- Equipo de adquisición e impresión Gráfica de parámetros
- Sistema de dosificación de aditivos líquidos (LAS).

## Cementación para etapa TR 16”.

**Objetivos de la cementación:** Aislamiento de 1000 m de A.D. Cubrir zona de acuíferos / Zona de transición.

Para esta etapa se utilizarán 2 lechadas para realizar la cementación, una lechada de llenado y una lechada de amarre.

Las características de la cementación se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de lechada	Diámetro agujero (pg)	Diámetro (pg)	Profundidad (MVBMR)	Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> )	Cima cemento (m)	Base cemento (m)	Gasto (BPM)	DEC máxima (g/cm <sup>3</sup> )
Llenado	18 ¼"	16"		1.60	400	1,400	3-7-5-3	1.71
Amarre	18 ¼"	16"	1585	1.95	1,400	1,600	3-7-5-3	1.71

*Tabla 11. Características de cementación para la etapa TR 16”.*

### Equipos y herramientas por utilizar

Para la realización de la cementación se utilizó la siguiente instrumentación:

- Zapata guía de 11 7/8”, 71.8 lb/pie; TAC-110, VSLIJ-II.
- Cople flotador 11 7/8”, 71.8 lb/pie; TAC-110, VSJLI-II.
- Cabeza de cementar 11 7/8”.
- Centrales rígidos.
- Tapones de desplazamiento anti rotatorios para TR 11 7/8”.
- Equipo de adquisición e impresión Gráfica de parámetros.
- Sistema de dosificación de aditivos líquidos (LAS).

## Cementación para etapa TR 11 7/8".

**Objetivos de la cementación:** Aislamiento de 1445 m de A.D. Asegurar la integridad ZAP hasta la cima del CCPS.

Para esta etapa se utilizarán 2 lechadas para realizar la cementación, una lechada de llenado y una lechada de amarre.

Las características de la cementación se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de lechada	Diámetro agujero (pg)	Diámetro (pg)	Profundidad (MVBMR)	Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> )	Cima cemento (m)	Base cemento (m)	Gasto (BPM)	DEC máxima (g/cm <sup>3</sup> )
Llenado	14 1/2"	11 7/8"		1.95	1,400	2,845	3-7-5-3	1.90
Amarre	14 1/2"	11 7/8"	3015	1.90	2,845	3,045	3-7-5-3	1.90

*Tabla 12. Características de cementación para la etapa TR 11 7/8".*

### Equipos y herramientas por utilizar

Para la realización de la cementación se utilizó la siguiente instrumentación:

- Zapata guía de 11 7/8", 71.8 lb/pie; TAC-110, VSLIJ-II,
- Cople flotador 11 7/8", 71.8 lb/pie; TAC-110, VSJLI-II.
- Cabeza de cementar 11 7/8"
- Centrales rígidos
- Tapones de desplazamiento anti rotatorios para TR 11 7/8"
- Equipo de adquisición e impresión Gráfica de parámetros
- Sistema de dosificación de aditivos líquidos (LAS).

## Cementación para etapa TR Liner 9 5/8".

**Objetivos de la cementación:** Aislamiento de 1003 m de A.D. Aislar zona depresionada de Cretácico hasta 30 m dentro de JST UB.

Para esta etapa se planea utilizar una única lechada para la cementación del Liner 9 5/8".

Las características de la cementación se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de lechada	Diámetro agujero (pg)	Diámetro (pg)	Profundidad (MVBMR)	Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> )	Cima cemento (m)	Base cemento (m)	Gasto (BPM)	DEC máxima (g/cm <sup>3</sup> )
única	10 5/8"	9 5/8"	4006	1.9	3,045	4,048	3-5-3-5-3	1.47

*Tabla 13. Características de cementación para la etapa TR 9 5/8".*

### Equipos y herramientas por utilizar

Para la realización de la cementación se utilizó la siguiente instrumentación:

- Zapata perforadora de 9 5/8", 53.5 lb/pie; TAC110, VSLIJII.
- Cople diferencial 9 5/8", 53.5 lb/pie; TAC110, VSLIJII.
- Cabeza de cementar.
- Centraores rígidos.
- Tapones de desplazamiento anti rotatorios.
- Equipo de adquisición e impresión Gráfica de parámetros.
- Sistema de dosificación de aditivos líquidos (LAS).

## Cementación para etapa TR Liner 7 5/8".

**Objetivos de la cementación:** Aislamiento de 519 m de A.D. Aislar zona de jurásicos, anhidrita hasta llegar a cima de yacimiento.

Para esta etapa se planea utilizar una única lechada para la cementación del Liner 7 5/8".

Las características de la cementación se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de lechada	Diámetro agujero (pg)	Diámetro (pg)	Profundidad (MVBM)	Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> )	Cima cemento (m)	Base cemento (m)	Gasto (BPM)	DEC máxima (g/cm <sup>3</sup> )
única	8 1/2"	7 5/8"	4525	1.9	4,048	4,567	3-5-3-5-3	1.76

*Tabla 14. Características de cementación para la etapa TR Liner 7 5/8".*

### Equipos y herramientas por utilizar

Para la realización de la cementación se utilizó la siguiente instrumentación:

- Zapata perforadora de 7" (con puertos de circulación), 32 lb/pie; TAC-110, HD513.
- Cople diferencial 7", 32 lb/pie; TAC-110, HD521.
- Cabeza de Cementar.
- Centrales rígidos.
- Tapones de desplazamiento anti rotatorios.
- Equipo de Adquisición e Impresión Gráfica de Parámetros.
- Sistema de Dosificación de Aditivos Líquidos (LAS).

1.2.6. Programa operativo: Programa direccional del pozo

Con los datos programados en la siguiente tabla es posible realizar una gráfica para conocer el programa de la trayectoria del caso de estudio

MD	Inc	Az	TVD	Northing	Easting	DLS	VS	Puntos relevantes
(m)	(°)	(°)	(m)	(m)	(m)	(°/30m)	(m)	
0	0	0	0	0	0	0	0	
230	0	0	230	0	0	0	0	Nudge
310	4	26	309.94	2.51	1.22	1.5	-2.76	Fin Nudge
600	4	26	599.23	20.69	10.09	0	-22.8	TR 20" KOP1
720	10	26	718.28	33.83	16.5	1.5	-37.28	EOC1
1,400	10	26	1,387.95	139.96	68.26	0	-154.25	KOP2
1,516.41	10	60	1,502.69	154.11	81.46	1.5	-173.35	EOC2
1,600	10	60	1,585.01	186.88	206.13	0	-186.37	TR 16"
2,500	10	60	2,471.34	239.51	229.37	0	-326.72	SOD
2,700	0	0	2,670.32	248.21	244.45	1.5	-342.35	EOD
3,045	0	0	3,015.32	248.21	244.45	0	-342.35	TR 11 7/8"
3,660	0	0	3,630.32	248.21	244.45	0	-342.35	KOP3
3,975	21	212	3,938.32	199.8	214.2	2	-285.3	EOC3
4,048	21	212	4,006.47	177.62	200.34	0	-259.18	LN 9 5/8"
4,080	21	212	4,036.34	167.89	194.26	0	-247.69	KOP4
4,423.96	61	217.5	4,290.76	-11.08	64.69	3.5	-26.87	EOC4
4,567	61	217.5	4,360.11	-110.34	-11.47	0	97.97	LN 7"
4,756.54	61	217.5	4,452	-241.85	-112.38	0	263.43	KOP5
4,959.52	88.06	218.02	4,505.64	-395.05	-231.11	4	456.8	EOC5
5,359.52	88.06	218.02	4,519.18	-709.98	-477.35	0	855.53	PT

Tabla 15. Programa de trayectoria del pozo. (PEMEX,2022)

Gráfica de trayectoria del caso de estudio.

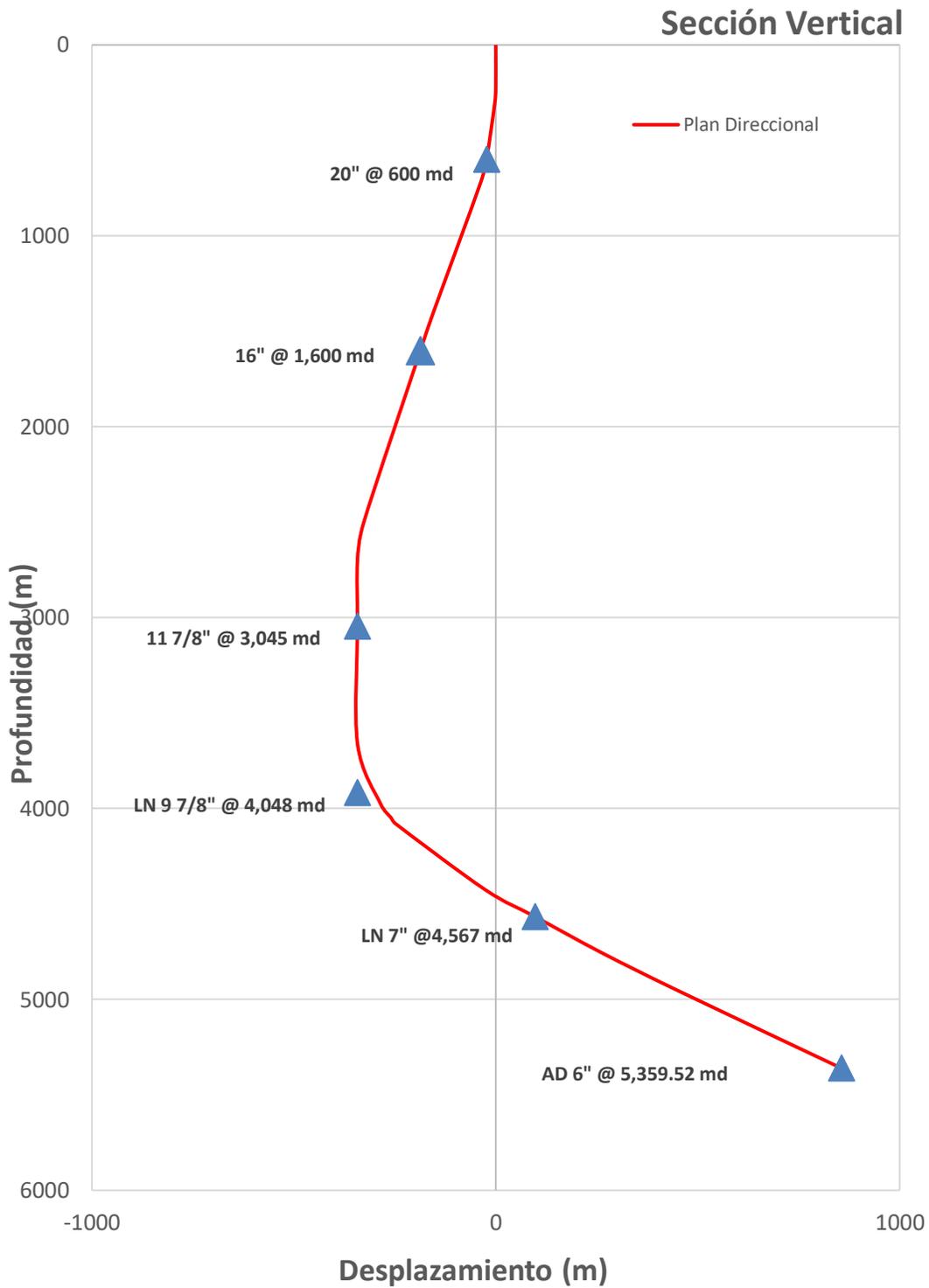


Ilustración 5. Gráfica de trayectoria propuesta para la perforación del pozo.

1.2.7. Programa operativo: Actividades programadas durante la perforación del pozo

Etapa de perforación con barrena de 26" para introducción de TR 20"

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 26" TR 20"	Perforar con barrena tricónica 26" a 600m.	24.50
	Circular y acondicionar agujero	4.63
	Levantar barrena de 26" a superficie	4.83
	Desmantelar sarta	6.42
	Preparativos e instalación de equipo casing running para introducir TR 20"	4.00
	Meter TR 20" con zapata rimadora y cople flotador a 600 m	17.50
	Preparativos para cementar	6.33
	Cementar TR de 20" (descargar peso en el fondo, observar que no exista deslizamiento, desplazar con lodo de la siguiente etapa)	9.17
	Desmantelar equipo de cementación	1.58
	Desmantelar equipo de introducción	3.00
	Recuperar tubo ancla y efectuar corte preliminar de TR de 20"	4.50
	Afinar corte definitivo a conductor de 20"	3.67
	Instalar cabezal 20 3/4" 3M sliplock y probar	5.83
	Fijar conductor a subestructura	10.50
	Instalar preventores de 20 3/4" y probar	54.92
	Instalar tubo campana, línea flote y charola ecológica	17.75
	Instalar buje de desgaste	1.30
	Amar sarta con barrena 18 1/4"	13.00
	Meter sarta con barrena 18 1/4" hasta cima de cemento	3.42
	Acondicionar lodo	4.75
Probar TR, rebajar cemento y accesorios hasta PI	11.00	

Tabla 16. Programa de actividades etapa de perforación para TR 20".

Etapa de perforación con barrena de 18 ¼" para introducción de TR 16".

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 18 ¼" TR 16"	Perforar con barrena PDC de 18 " y sarta rotatoria a 1600 m.	56.85
	Circular y acondicionar agujero	10.92
	Levantar barrena de 18 ¼" a superficie	6.92
	Corte y desliz de cable	2.38
	Desmantelar sarta	6.17
	Recuperar buje de desgaste.	1.25
	Instalar equipo convencional para introducir TR 16". Realizar cambio de RAMs y prueba	12.00
	Meter TR 16" equipado con zapata guía y cople flotador a 1600 m	25.75
	Preparativos para cementar	9.10
	Cementar TR de 16"	8.42
	Esperar fraguado	12.70
	Desmantelar equipo de cementación	1.63
	Desmantelar equipo de introducción	5.17
	Levantar preventores 20 ¾", tensionar y sentar TR de 16" con cuñas en cabezal	9.00
	Desmantelar preventores 20 ¾"	17.50
	Eliminar charola ecológica, campana, línea de flote, efectuar corte a TR de 16" y eliminar tubo ancla	5.58
	Efectuar corte definitivo de TR 16"	2.58
	Instalar brida doble sello, cabezal y probar	5.75
	Realizar maniobras, instalar preventores 16 ¾" y CSC	27.50
	Armar tapón sólido y probar preventores	11.33
	Instalar campana, charola ecológica y línea de flote	18.75
	Instalar buje de desgaste	2.10
	Armar y meter sarta con barrena 14 ½"	12.33
	Bajar a reconocer cima de cemento P.I	8.58
	Acondicionar lodo (No está el desplazamiento del lodo E.I 1.45 x 1.75 g/cm3)	10.08
	Probar TR, Rebajar cemento y accesorios hasta PI (No esta rebaja la zapata)	7.33

Tabla 17. Programa de actividades etapa de perforación para TR 16".

Etapa de perforación con barrena de 14 1/4" para introducción de TR 11 7/8".

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 14 1/2 " TR 11 7/8"	Perforar con barrena PDC de 14 1/2" y sarta rotatoria a 3045m.	89.13
	Circular y acondicionar agujero	4.50
	Levantar barrena de 14 1/2" a superficie	12.08
	Corte y desliz de cable	3.40
	Desmantelar sarta	5.75
	Recuperar buje de desgaste	1.40
	Instalar equipo convencional para introducir TR 11 7/8"	7.17
	Meter TR 11 7/8" zapata guía y cople flotador a 3045 m	36.25
	Preparativos para cementar	7.41
	Cementar TR de 11 7/8"	6.92
	Esperar fraguado	12.00
	Desmantelar equipo de cementación	1.50
	Levantar preventores 16 3/4 ", instalar cuñas para TR de 11 7/8 "	8.17
	Efectuar corte a TR de 11 7/8" y eliminar tubo ancla.	3.83
	Corte definitivo de TR 11 7/8"	2.00
	Instalar brida doble sello, cabezal y probar	7.33
	Realizar maniobras, instalar preventores 16 3/4 ", cambio de RAMs y CSC	10.00
	Armar tapón sólido y probar preventores	9.08
	Instalar campana, charola ecológica y línea de flote.	9.67
	Instalar buje de desgaste	1.25
	Armar sarta rotatoria con barrena 10 5/8"	8.42
	Meter sarta con barrena 10 5/8" hasta cima de cemento	10.33
	Probar TR, Rebajar cemento y accesorios hasta PI	14.75
Acondicionar lodo (desplazar lodo de E.I. por BADM) y lavar presas	28.75	

Tabla 18. Programa de actividades etapa de perforación para TR 11 7/8".

Etapa de perforación con barrena de 10 5/8" para introducción de Liner 9 5/8".

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 10 5/8" Liner 9 5/8"	Perforar con barrena PDC de 10 5/8" y sarta rotatoria a 4048 m.	135.90
	Circular y acondicionar agujero	7.50
	Levantar barrena de 10 5/8" a superficie	15.92
	Corte y desliz de cable	3.92
	Desmantelar sarta	3.30
	Recuperar buje de desgaste.	1.33
	Realizar cambio de RAMs	4.75
	Realizar preparativos e instalar equipo para introducir Liner 9 5/8"	5.58
	Meter Liner 9 5/8" con colgador rotatorio, zapata perforadora y cople diferencial a 4048 m	44.75
	Anclar colgador	3.00
	Preparativos para cementar	3.80
	Cementar Liner de 9 5/8"	4.00
	Empacar colgador, sacar colgador a superficie	13.25
	Desmantelar equipo de cementación	3.50
	Desmantelar equipo de introducción	1.25
	Armar tapón sólido y probar preventores	12.75
	Instalar buje de desgaste	2.20
	Armar sarta rotatoria con barrena 8 1/2"	9.75
	Meter sarta rotatoria con barrena 8 1/2" hasta cima de cemento	24.33
	Acondicionar lodo (antes de rebajar, desplazar lodo BADM por E.I.) y lavar presas	14.30
Probar Liner, rebajar cemento y accesorios hasta PI	17.67	

Tabla 19. Programa de actividades etapa de perforación para Liner 9 5/8".

Etapa de perforación con barrena de 8 ½" para introducción de Liner 7".

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 8 ½" Liner 7"	Perforar con barrena PDC de 8 ½" y sarta rotatoria a 4567 m	98.00
	Circular y acondicionar agujero	3.00
	Levantar barrena de 8 ½" a superficie	23.67
	Corte y desliz de cable	5.58
	Desmantelar sarta	3.83
	Recuperar buje de desgaste.	1.25
	Instalar equipo para introducir Liner 7"	2.75
	Meter Liner 7" con colgador rotatorio, zapata perforadora y cople diferencial a 4567 m	38.83
	Anclar colgador	3.50
	Preparativos para cementar	5.75
	Cementar Liner de 7"	3.50
	Empacar colgador, sacar colgador a superficie	17.00
	Desmantelar equipo de cementación	2.00
	Armar tapón sólido y probar preventores	14.70
	Instalar buje de desgaste	1.42
	Armar TP de 3 ½"	19.67
	Armar sarta con barrena de 6"	8.50
	Meter sarta con barrena 6" hasta cima de cemento	15.50
	Probar Liner, rebajar cemento y accesorios hasta PI	18.20
Acondicionar lodo base agua de mar (desplazar lodo de E.I. por lodo base agua de mar) y lavar presas	36.83	

Tabla 20. Programa de actividades etapa de perforación para Liner 7".

Etapa de perforación con barrena de 6" dejando perforación en agujero descubierto

ETAPA	ACTIVIDAD	HORAS PROG
BARRENA 6" Agujero descubierto	Perforar con barrena PDC de 6" a 5359.52 m	150.00
	Circular y acondicionar agujero, dejando bache en todo el agujero descubierto de 10 micrones y 100 m dentro del Liner de 7"	13.17
	Levantarse a cima de bache y realizar desplazamiento de fluido lodo base agua de mar por salmuera cálcica	15.00
	Levantar barrena de 6" a superficie	14.00
	Corte y desliz de cable	2.67
	Desmantelar sarta con barrena de 6"	3.00

Tabla 21. Programa de actividades etapa de perforación con barrena 6" AD.

### 1.3. Ejecución del caso de estudio

Durante la perforación de pozos es importante tener en cuenta de manera puntual el tiempo utilizado en las operaciones, esto con la finalidad de poder medir y llevar un registro de las diferencias entre el programa y el tiempo real que se lleva a cabo en las actividades, esto para poder determinar eficiencias y la rapidez de construcción del pozo.

Los tiempos en la construcción de un pozo, se pueden clasificar de dos maneras, tiempos productivos y tiempos no productivos:

#### Tiempos productivos

Este se considera como el tiempo en que se lleva a cabo la perforación al tiempo en que tarda la barrena en perforar el intervalo deseado, así como que se realicen las actividades de cambio de etapa conforme a lo planeado, viendo en una gráfica de actividades, los tiempos reales de las operaciones estarán empalmadas con los tiempos programados por actividad.

#### Tiempos no productivos (Non-productive times, NPT)

Son los tiempos perdidos, refiriéndose a los eventos que interrumpan con la operación planificada causando un retraso en el tiempo estimado de entrega del proyecto. Los NPT incluyen el tiempo total necesario para la resolución de los problemas hasta que la operación se reanude desde el punto o la profundidad donde se presentó una falla, espera, para este rubro también serán considerados las esperas por mejores condiciones meteorológicas y otros imprevistos ambientales, suspensión o problema. <sup>(44)</sup>

---

<sup>(44)</sup> Adaptado de J. M. Luzardo Soledispa, "Sistema de control de procesos empresariales por medio de indicadores de gestión aplicado al departamento de servicio al cliente en el proceso de facturación y atención de reclamos de la empresa 'PLÁSTICOS S.A.' ubicada en la ciudad de Guayaquil (1.a ed.)", 2009.

## Tiempos no productivos invisibles

Los "tiempos invisibles" representan la discrepancia entre la duración real de las operaciones y un estándar de mejores prácticas. En otras palabras, son los períodos en los que las operaciones reales experimentan demoras en comparación con los objetivos o condiciones ideales. Se denominan "invisibles" porque no se reflejan en los informes diarios de operaciones, a diferencia de los Tiempos No Productivos (NPT). Existen varios eventos que pueden contribuir a estos tiempos perdidos invisibles, como operaciones innecesarias, uso de equipos no óptimos e inexperiencia del personal en la realización de tareas.

En muchos casos, al intentar mejorar la eficiencia de las actividades de construcción de pozos, se enfocan en eliminar los NPT, descuidando así los tiempos invisibles y desaprovechando una oportunidad de ahorro tanto en tiempo como en costos de alquiler de equipos.

Antes de ejecutar las actividades de perforación, es crucial realizar un inventario de los materiales que se utilizarán durante la perforación de los pozos, así como cargar los programas operativos en los sistemas de seguimiento operativo. Esto permitirá comparar las actividades, equipos y materiales utilizados con los planificados. <sup>(45)</sup>

---

<sup>(45)</sup> Adaptado de J. M. Luzardo Soledispa, "Sistema de control de procesos empresariales por medio de indicadores de gestión aplicado al departamento de servicio al cliente en el proceso de facturación y atención de reclamos de la empresa 'PLÁSTICOS S.A.' ubicada en la ciudad de Guayaquil (1.a ed.)", 2009.

### 1.3.1. Resumen de la ejecución del caso de estudio por etapas

Para la evaluación de las eficiencias que ser revisaran en las actividades de perforación y de cambio de etapa son las siguientes:

**Perforación:**

$$\left( \frac{(\text{Tiempo programado de perforación})}{(\text{Tiempo realizado en la perforación})} \right) \times 100 = \text{Eficiencia del equipo durante la perforación}$$

$$\text{Tiempo total de operaciones} - \text{NPT's} = \text{Tiempo sin NPT's}$$

**Cambio de etapa:**

$$\left( \frac{(\text{Tiempo programado de actividades})}{(\text{Tiempo realizado en las actividades})} \right) \times 100 = \text{Eficiencia del equipo durante la etapa}$$

$$\text{Tiempo total de operaciones} - \text{NPT's} = \text{Tiempo sin NPT's}$$

Etapa de perforación con barrena de 26" para introducción de TR 20".

#### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



*Ilustración 6. Condiciones de perforación en la etapa TR 20".*

Como se puede observar en la comparativa de condiciones de perforación se tuvieron más días de los programados, esto debido a que se ciclaron las herramientas de fondo en varias ocasiones, se intentó realizar toma de survey sin éxito.

Con barrena tricónica de 26" equipada con motor de fondo graduado a 1.5° perfora a 600 m, 513 m, en 16:12 h. ult.3, 5-5-5 min. Condiciones de operación Psb. 6 a 7 ton. rpm 40, Torque, 3800 -

4100 lbs\*pie, Epm 165, Q: 800 gpm. Pbb:1040 psi. Tomando survey y bombeando 15 m3 de bache viscoso de 1.03 x 150 seg. c/ling. perforada.

La condición de metros por día se cumple conforme a lo programado, el parámetro de ROP promedio durante la perforación queda por arriba del programa por una unidad, lo que está dentro de los parámetros estimados.

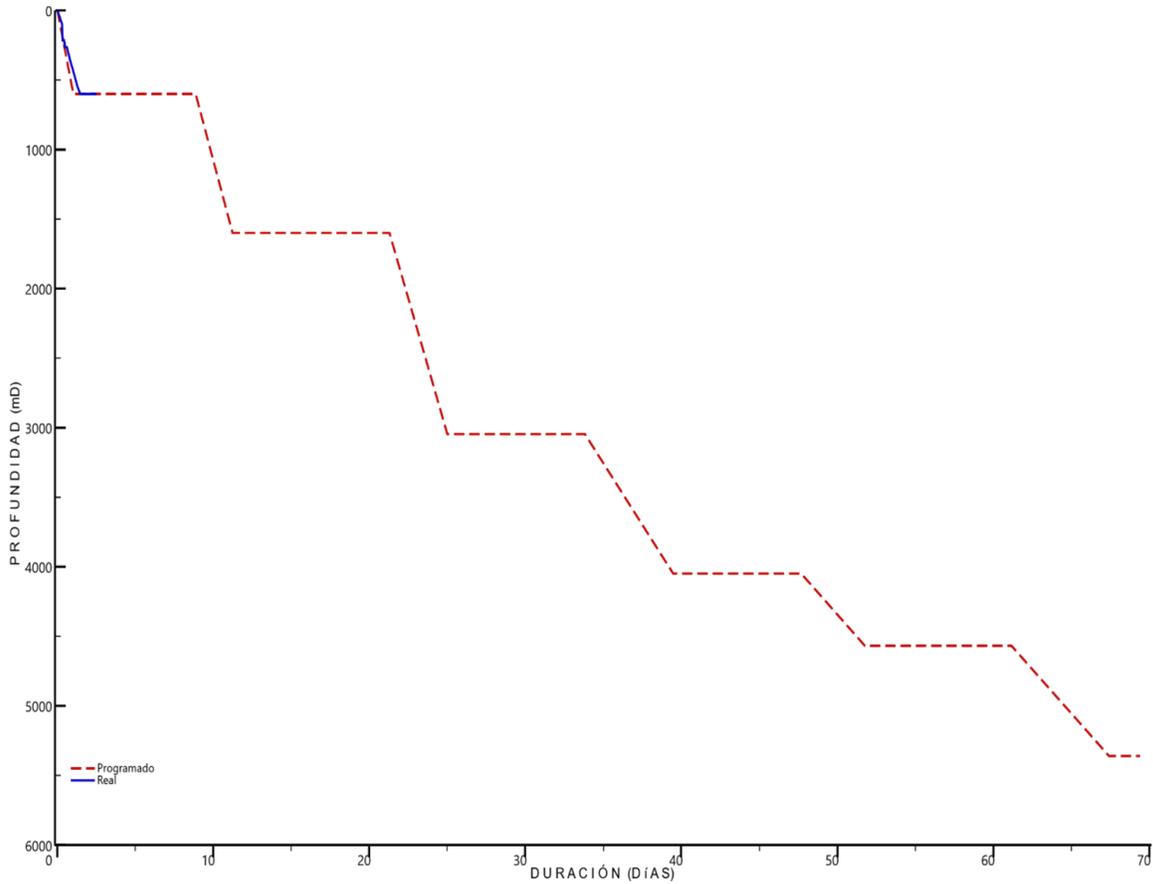


Ilustración 7. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 20".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(24.48 \text{ hrs})}{(34.8 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 70.34 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Toma de surveys con herramienta recargada en el fondo perforado	7.2
	Total	7.2

Tabla 22. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 20".

La suma total de horas en NPT's es de 7.2 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculo de eficiencia se obtiene:

$$34.8 - 7.2 = 27.6 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(24.48 \text{ hrs})}{(27.6 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 88.69\%$$

Después de retirar la cantidad total de horas NPT's se obtiene una eficiencia por debajo de la esperada para el equipo.

### Cambio de etapa

Las actividades realizadas en el cambio de etapa posterior a la perforación de la etapa son las siguientes:

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
1	Circular y acondicionar agujero	4.63	5.00
2	Levantar barrena de 26" a superficie	4.83	8.00
3	Desmantelar sarta	6.42	7.00
4	Preparativos e instalación de equipo casing running para introducir TR 20"	4.00	6.00
5	Meter TR 20" con zapata rimadora y cople flotador a 600 m	17.50	18.00
6	Preparativos para cementar	6.33	3.50
7	Cementar TR de 20"	9.17	87.50
8	Desmantelar equipo de cementación	1.58	2.00
9	Desmantelar equipo de introducción	3.00	0.00

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
10	Recuperar tubo ancla y efectuar corte preliminar de TR de 20"	4.50	4.00
11	Afinar corte definitivo a conductor de 20"	3.67	10.00
12	Instalar cabezal 20 3/4" x 20 3M sliplock y probar	5.83	7.00
13	Fijar conductor a subestructura	10.50	10.00
14	Instalar preventores de 20 3/4" y probar	54.92	50.00
15	Instalar tubo campana, línea de flote, charola ecológica y buje de desgaste	17.75	11.00
16	Instalar buje de desgaste	1.30	2.00
17	Armar sarta con barrena PDC de 18 1/4"	13.00	10.00
18	Meter sarta con barrena 18 1/4" hasta cima de cemento	3.42	3.00
19	Acondicionar lodo	4.75	5.50
20	Probar TR, Rebajar cemento y accesorios hasta PI	11.00	8.50

Tabla 23. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 20".

Durante las operaciones de levantamiento y desensamble del conjunto BHA, se encontraron problemas de arrastre y resistencia, lo que requirió un repaso y ajustes en los parámetros de rotación del Top Drive. Esto resultó en un aumento en los tiempos de desmantelamiento del BHA utilizado en la perforación. Además, durante la bajada de la tubería de revestimiento de 20", se enfrentaron problemas de resistencia, que se resolvieron con rotación y bombeo. Durante la cementación de la etapa, hubo dificultades con el suministro de cemento debido a una válvula ensolvada, lo que llevó a romper un tapón diafragma. Finalmente, se detectó una fuga de aceite en los sellos inferiores durante una prueba de integridad bajo el cabezal de 20 3/4".

A partir de la relación de tiempos de cambio de etapa se realiza el análisis de eficiencias para el cambio de etapa a partir de la siguiente gráfica:

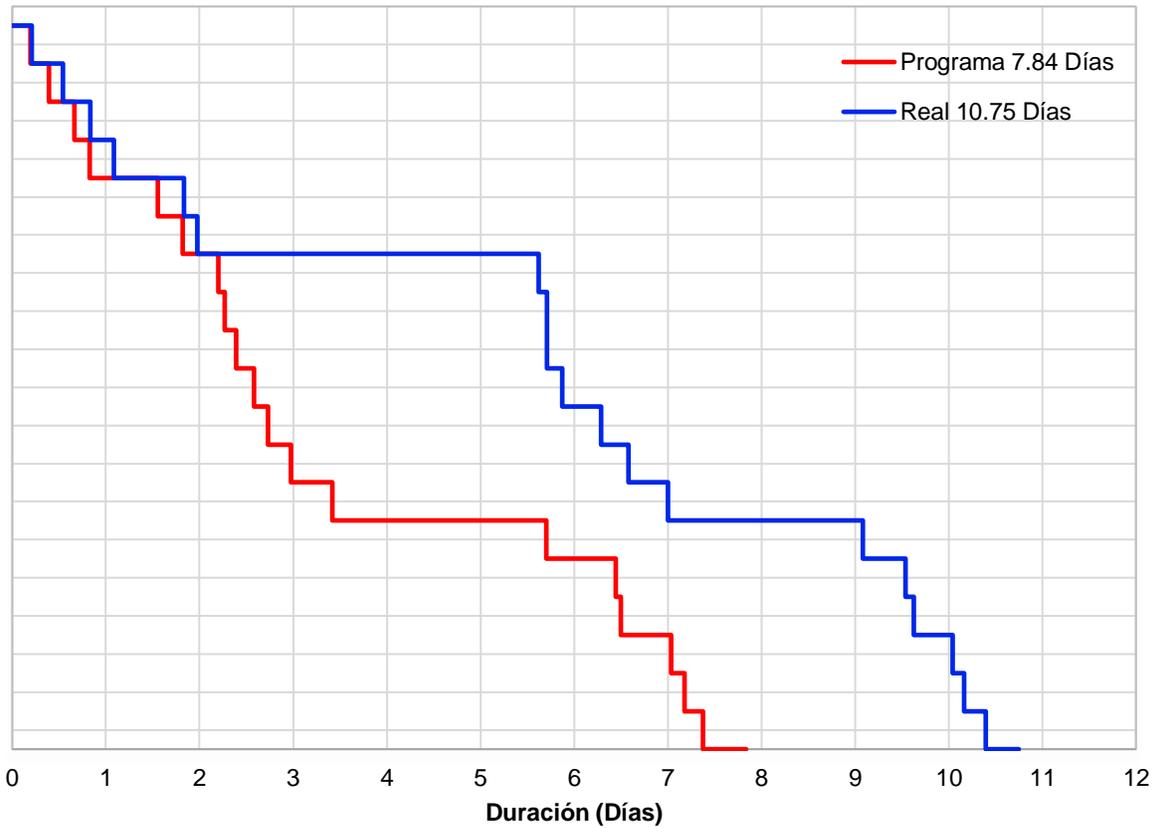


Ilustración 8. Gráfica de distribución de tiempos cambio de etapa TR 20".

Por lo que, sustituyendo los datos obtenidos se sustituye en la fórmula para cálculo de eficiencia:

$$\left( \frac{(188.10 \text{ hrs})}{(258 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 72.90\%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Observó arrastres de 10/18 ton	5.5
2	Apoyo a producción para recibir toten	1.5
3	Efectuó mantenimiento y cambio doble pin al top drive	2
4	Bajó TR 20" a 590 m donde checo resistencia venció con bombeo y rotación	1
5	Falta de suministro cemento por ensolvamiento	74
6	Falla en sellos inferiores del cabezal	4
7	Operación lenta por movimiento del conductor	6
8	Apoyo a producción para estimular pozo alojado en la misma plataforma	5.5
9	Durante las pruebas de los BOP's corrige fugas	4
	Total	103.5

*Tabla 24. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 20".*

La suma total de horas en NPT's es de 103.5 horas, realizando la diferencia de tiempos y realizando evaluación de eficiencias de la etapa se obtiene:

$$258 - 103.5 = 154.5 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(188.10 \text{ hrs})}{(154.5 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 121.74\%$$

Como se puede observar, para la eficiencia sin NPT's se ve mejorada en un 21.74% del programa lo cual representa un ahorro de tiempo de 33.6 horas.

Etapa de perforación con barrena de 18 ¼" para introducción de TR 16".

### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



*Ilustración 9. Condiciones de perforación en la etapa TR 16".*

Durante la perforación de esta etapa se presentaron varios inconvenientes los cuales derivaron en el incremento del tiempo ocupado para la perforación de esta etapa, así como del ritmo de perforación de esta. Un resumen de los NPT's más importantes es el siguiente:

Se perforó con una barrena PDC de 18 ¼" y sarta rotatoria navegable desde los 670 hasta los 692 metros de profundidad controlada para construir ángulo. La perforación se suspendió debido a una caída de presión en la bomba #2 módulo 1 succión, causada por una fisura en la válvula y lavado del asiento del módulo #1.

Luego, se perforó con la misma configuración hasta los 1064 metros de profundidad, pero se suspendió debido a una fuga en la línea de enfriamiento del generador de la unidad de potencia del top drive, la línea de anticongelante.

Finalmente, se perforó hasta los 1370 metros de profundidad, pero se suspendió debido a un apagón repentino.

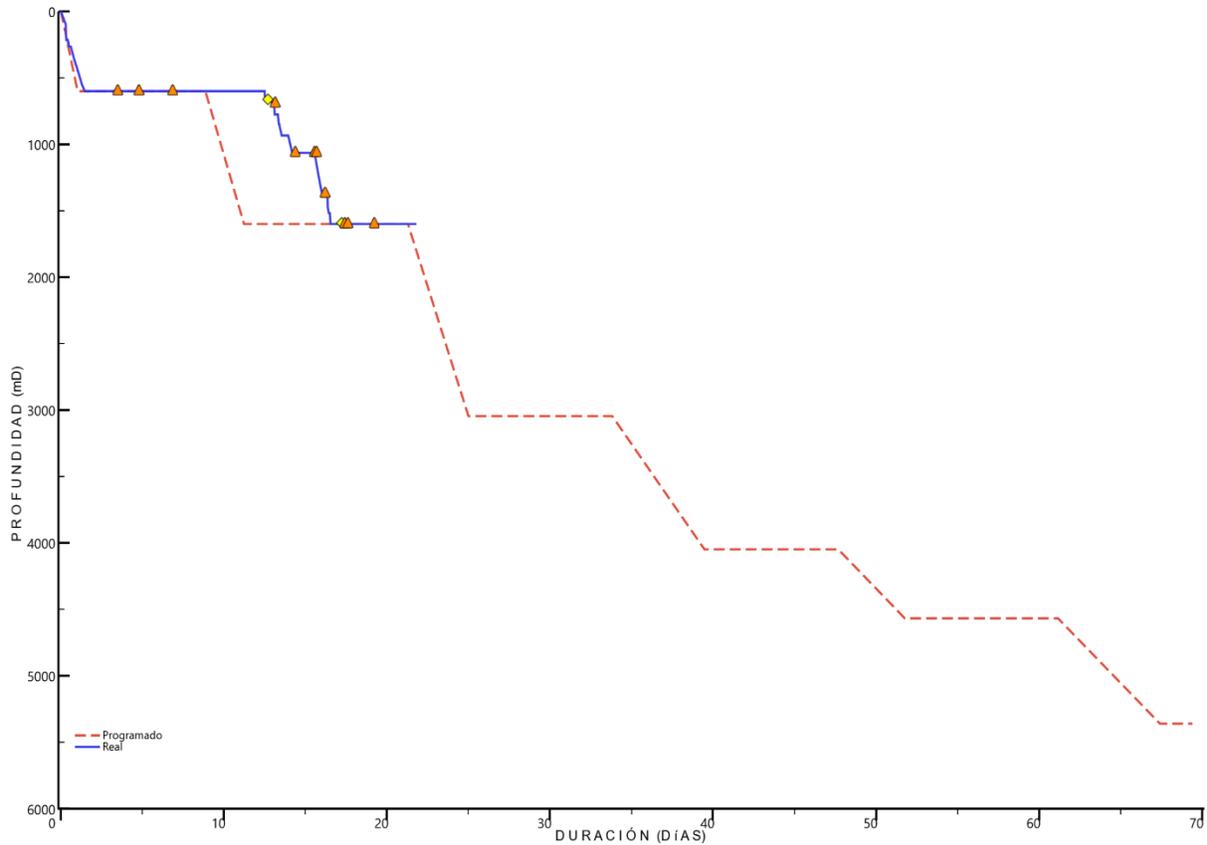


Ilustración 10. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 16".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(56.64 \text{ hrs})}{(108.48 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 52.21 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Falta de cajas de recorte vacías, observando abundante salida de recorte	9
2	Caída de presión en la bomba	3
3	Se suspende la perforación por fuga en la línea de enfriamiento del generador de la unidad de potencia del Top Drive	28.5
4	Falla en la alimentación del voltaje de las fuentes de poder que energizan el PLC	3
5	Black out	6.5
	Total	50

Tabla 25. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 16"

La suma total de horas en NPT's es de 50 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculo de eficiencia se obtiene:

$$108.48 - 50 = 58.48 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(56.64 \text{ hrs})}{(58.48 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 96.85\%$$

Como se puede observar, después de discretizar los tiempos NPT's, se obtuvo una eficiencia aceptable para la perforación de la etapa, ya que pudieron existir tiempos invisibles no cuantificados en los tiempos de NPT's.

### Cambio de etapa

Las actividades realizadas en el cambio de etapa posterior a la perforación de la etapa son las siguientes:

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
1	Circular y acondicionar agujero	10.92	5.00
2	Levantar barrena de 18 1/4" a superficie	6.92	21.00
3	Corte y desliz de cable	2.38	4.00
4	Desmantelar sarta	6.17	7.50
5	Recuperar buje de desgaste.	1.25	1.00
6	Instalar equipo convencional para introducir TR 16". Realizar cambio de rams y prueba	12.00	75.00
7	Meter TR 16" equipado con zapata guía y cople flotador a 1600 m	25.75	315.00
8	Preparativos para cementar	9.10	58.50
9	Cementar TR de 16"	8.42	6.00
10	Esperar fraguado	12.70	15.00
11	Desmantelar equipo de cementación	1.63	2.00
12	Desmantelar equipo de introducción	5.17	5.00
13	Levantar preventores 20 3/4", tensionar y sentar TR de 16" con cuñas en cabezal	9.00	5.50
14	Desmantelar preventores 20 3/4"	17.50	11.00

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
15	Eliminar charola ecológica, campana, línea de flote, efectuar corte a TR de 16" y eliminar tubo ancla	5.58	4.00
16	Efectuar corte definitivo de TR 16"	2.58	2.00
17	Instalar brida doble sello, cabezal y probar	5.75	4.00
18	Realizar maniobras, instalar preventores 16 3/4 y CSC	27.50	22.00
19	Armar tapón sólido y probar preventores	11.33	17.00
20	Instalar campana, charola ecológica y línea de flote	18.75	10.00
21	Instalar buje de desgaste	2.10	334.00
22	Armar y meter sarta con barrena 14 1/2"	12.33	11.50
23	Bajar a reconocer cima de cemento P.I	8.58	8.50
24	Acondicionar lodo	10.08	13.50
25	Probar TR, rebajar cemento y accesorios hasta P.I	7.33	7.50

Tabla 26. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 16".

Durante las operaciones de levantamiento de la sarta de perforación con una barrena PDC de 18 ¼" y sarta rotatoria navegable, se encontraron varios problemas. En primer lugar, se detectó una salida de aceite hidráulico del freno del malacate a los 52 metros de profundidad, lo que llevó a cambiar la manguera de la consola hidráulica. Sin embargo, se enfrentó una nueva interrupción debido a una falla en la unidad de potencia hidráulica del freno del malacate a los 27 metros de profundidad, lo que requirió una inspección y cambio de la bomba hidráulica.

Se realizaron múltiples intentos de solucionar esta falla, incluyendo el cambio de varios componentes del sistema hidráulico, pero sin éxito. Además, durante los preparativos para la cementación de la etapa, se observaron problemas con el bache espaciador, lo que causó la generación de espuma y la interrupción de la circulación del fluido.

Finalmente, durante la instalación del buje de desgaste, se produjo una espera debido a un problema con el top drive eléctrico, pero se resolvió satisfactoriamente después de realizar orden y limpieza en diversas áreas y realizar el mantenimiento necesario a las herramientas.

A partir de la relación de tiempos de cambio de etapa se realiza el análisis de eficiencias para el cambio de etapa a partir de la siguiente gráfica:

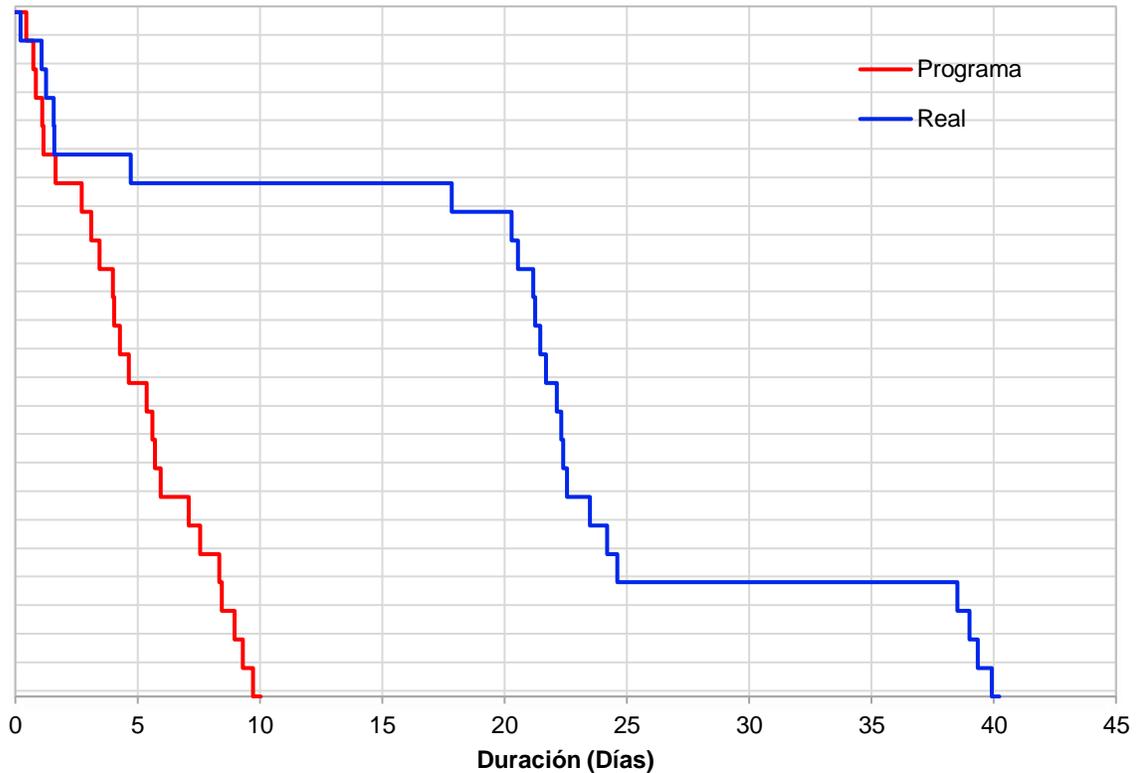


Ilustración 11. Gráfica de distribución de tiempos cambio de etapa TR 16".

Por lo que, sustituyendo los datos obtenidos se sustituye en la fórmula para cálculo de eficiencia:

$$\left( \frac{(240.82 \text{ hrs})}{(965.50 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 24.94\%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Levanta a 130 m donde suspende por malas condiciones climatológicas.	1.3
2	Falla manguera de consola del UPH.	12.3
3	Elimina BHA suspende para bajar cajas llenas.	4.5
4	Suspende preparativos introducción para recibir TR's y reacomodar herramientas direccionales.	5
5	Falla en la UPH.	307
6	Efectuó viaje de reconocimiento.	18.5
7	Espero equipo de TR's.	21.5
8	Observa falla en computadora de TR's.	3
9	Introdujo lento por constante movimiento del conductor 16" y mala alineación por parte de chango.	10.5
10	Encontró resistencia con TR 16" a 1587 m bajo con bombeo.	3

11	En la preparación de baches espaciadores se presentó gelificación, espero aditivos.	55
12	Suspendió para recibir 4 contenedores para desmantelar Top Drive.	2
13	Metió 589 m de TP dentro del pozo.	3
14	Desmantela top drive.	59
15	Espera top drive, generador, cable.	262
16	Fuera de programa se armó 8 lingadas de TP 5" 25.6# y 19 lingadas TP 5" 19.5#.	10
17	Recuperó cola colgada a superficie.	6
18	Fuera de programa las circulaciones antes de rebajar el cemento y pruebas.	3.5
	Total	787.1

*Tabla 27. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 16".*

La suma total de horas en NPT's es de 787.1 horas, realizando la diferencia de tiempos se obtiene:

$$965.50 - 787.1 = 178.4 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(240.82 \text{ hrs})}{(178.4 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 135\%$$

Como se puede observar, para la eficiencia sin NPT's se ve mejorada en un 35% del programa lo cual representa un ahorro de tiempo de 62.42 horas.

## Etapa de perforación con barrena de 14 ½" para introducción de TR 11 7/8".

### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



Ilustración 12. Condiciones de perforación en la etapa TR 11 7/8".

Durante la perforación de esta etapa se presentaron varios inconvenientes los cuales derivaron en el incremento del tiempo ocupado para la perforación de esta etapa, así como en el ritmo para la perforación de metros por día que se realizaron. Un resumen de los sucesos más importantes de NPT es el siguientes:

Durante la perforación con una barrena PDC de 14 ½" y sarta rotatoria, se encontraron varios contratiempos. Se repasó en dos ocasiones debido a la falta de gruero y ATP's adicionales a 183 metros. Se reparó una fuga en la válvula de la bomba #1 a los 518 metros, pero luego se suspendió debido a una falla en la manguera hidráulica de la grúa "E" a los 2741 metros.

La perforación continuó hasta los 2760 metros, donde se observó la falta de señal de RG. Se enfrentó un atasco de la sarta a los 2845 metros, que se resolvió aplicando tensión y golpes de martillo. Posteriormente, se observó un paro de la rotaria a los 2862 metros, que se solucionó con más tensión y golpes de martillo.

Además, se notó un giro continuo del manipulador de TP al levantar la sarta con bombeo y rotación a los 2859 metros, lo que llevó a revisar el equipo del top drive y cambiar el BHA. Finalmente, se descendió al fondo libre y se continuó perforando hasta los 3045 metros.

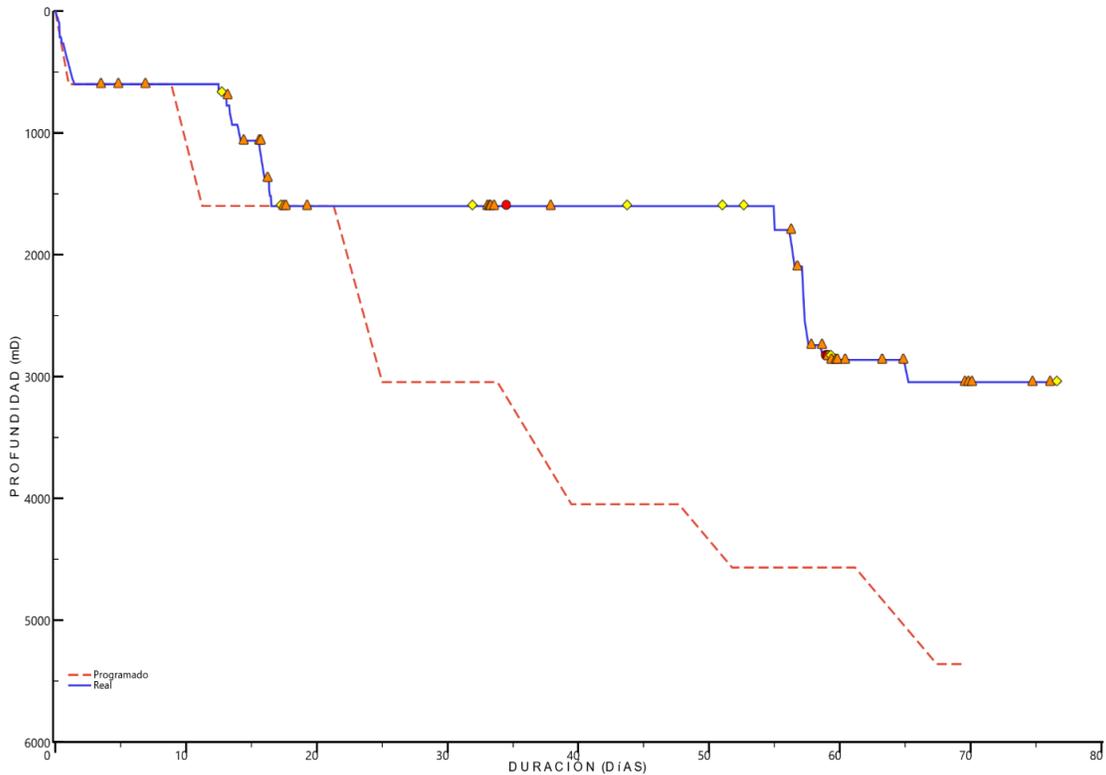


Ilustración 13. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa TR 11 7/8".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(89.04 \text{ hrs})}{(226.32 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 39.34 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Repara fuga en válvula bomba #1	0.3
2	Falla manguera hidráulica de grúa lado "E"	3.5
3	Trasrosque de cuerdas	34
4	Falla tornillo trasportador	0.5
5	Observó paros de rotaria 2845 y 2862 m	16.5
6	Falla en el manipulador de la TP del top drive	5.5
7	Mejores condiciones meteorológicas	77.5
8	Falla LWD x falla sensor del RG	1
9	Cambio llave de apriete de tuberías	42.5
10	Golpeteo de cadena en malacate	3
11	Falla Generador #1	2.5
12	Falla válvula de descarga	2.5
13	Falla bomba #1 soplador	3.5
	Total	192.8

Tabla 28. Tiempos no productivos en perforación de etapa TR 11 7/8"

La suma total de horas en NPT's es de 192.8 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculo de eficiencia se obtiene:

$$226.32 - 192.8 = 33.52 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(89.04 \text{ hrs})}{(33.52 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 265.63\%$$

En esta etapa se puede observar que después de la discretización de tiempos NPT's se muestra que la etapa se perforó con una reducción de tiempos de 55.52 horas, esto se debe a que mientras se tuvieron esperas y fallas se adelantaron diversas actividades que hicieron más eficiente el proceso.

### Cambio de etapa

Las actividades realizadas en el cambio de etapa posterior a la perforación de la etapa son las siguientes:

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
1	Circular y acondicionar agujero	4.50	4.50
2	Levantar barrena de 14 1/2" a superficie	12.08	54.00
3	Corte y desliz de cable	3.40	3.00
4	Desmantelar sarta	5.75	9.50
5	Recuperar buje de desgaste	1.40	1.50
6	Instalar equipo convencional para introducir TR 11 7/8"	7.17	15.50
7	Meter TR 11 7/8" zapata guía y cople flotador a 3045 m	36.25	43.50
8	Preparativos para cementar	7.41	7.00
9	Cementar TR de 11 7/8"	6.92	6.50
10	Esperar fraguado	12.00	19.00
11	Desmantelar equipo de cementación	1.50	2.50
12	Levantar preventores 16 3/4", instalar cuñas para TR de 11 7/8 "	8.17	13.00
13	Efectuar corte a TR de 11 7/8" y eliminar tubo ancla.	3.83	11.50

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
14	Corte definitivo de TR 11 7/8"	2.00	1.00
15	Instalar brida doble sello, cabezal y probar	7.33	15.50
16	Realizar maniobras, instalar preventores 16 3/4", cambio de RAMS y CSC	10.00	5.00
17	Armar tapón sólido y probar preventores	9.08	10.00
18	Instalar campana, charola ecológica y línea de flote.	9.67	8.00
19	Instalar buje de desgaste	1.25	1.00
20	Armar sarta rotatoria con barrena 10 5/8"	8.42	27.00
21	Meter sarta con barrena 10 5/8" hasta cima de cemento	10.33	14.50
22	Probar TR, Rebajar cemento y accesorios hasta PI	14.75	22.50
23	Acondicionar lodo (desplazar lodo de E.I. por BADM) y lavar presas	28.75	107.00

Tabla 29. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa TR 11 7/8".

Durante la circulación y acondicionamiento el agujero, con barrena PDC 14 1/2" y sarta rotatoria navegable a 1580 m, personal de mantenimiento trabaja ajustando cadena de la transmisión de baja del malacate principal, para posteriormente presentar una espera de cadena para instalar en la transmisión de baja del malacate principal. para continuar con la operación.

Durante la introducción de TR 11 7/8" con zapata guía y cople flotador a 3045 m, se continuó metiendo TR 11 7/8", TAC-110, 71.8 lb/ft con zapata guía a 618 md, cople flotador y 17 tramos de TR con centradores, donde suspende por falla de palanca de freno electromagnético. Se reparó falla en freno de malacate principal, cambiando válvula de paso de UPH a malacate.

Durante la introducción de sarta con barrena de 10 5/8" hasta cima de cemento, se realiza con velocidad controlada por no contar con suministro de aire al malacate para la activación de modalidad de alta, se procede a realizar reparaciones.

Durante el acondicionamiento de lodo, desplazando lodo de emulsión inversa por fluido base agua de mar, se realiza una espera de lodo por barco, no se puede acoderar de manera exitosa por malas condiciones climatológicas (MCC). En el inter, Con barrena PDC 10 5/8" y sarta rotatoria a 3041 m personal de mantenimiento repara falla del sistema de frenos del malacate principal.

Posteriormente se realiza una suspensión de actividades, ya que se realizaron intervenciones de instalaciones BEC en 2 pozos activos de producción en la plataforma.

A partir de la relación de tiempos de cambio de etapa se realiza el análisis de eficiencias para el cambio de etapa a partir de la siguiente gráfica:

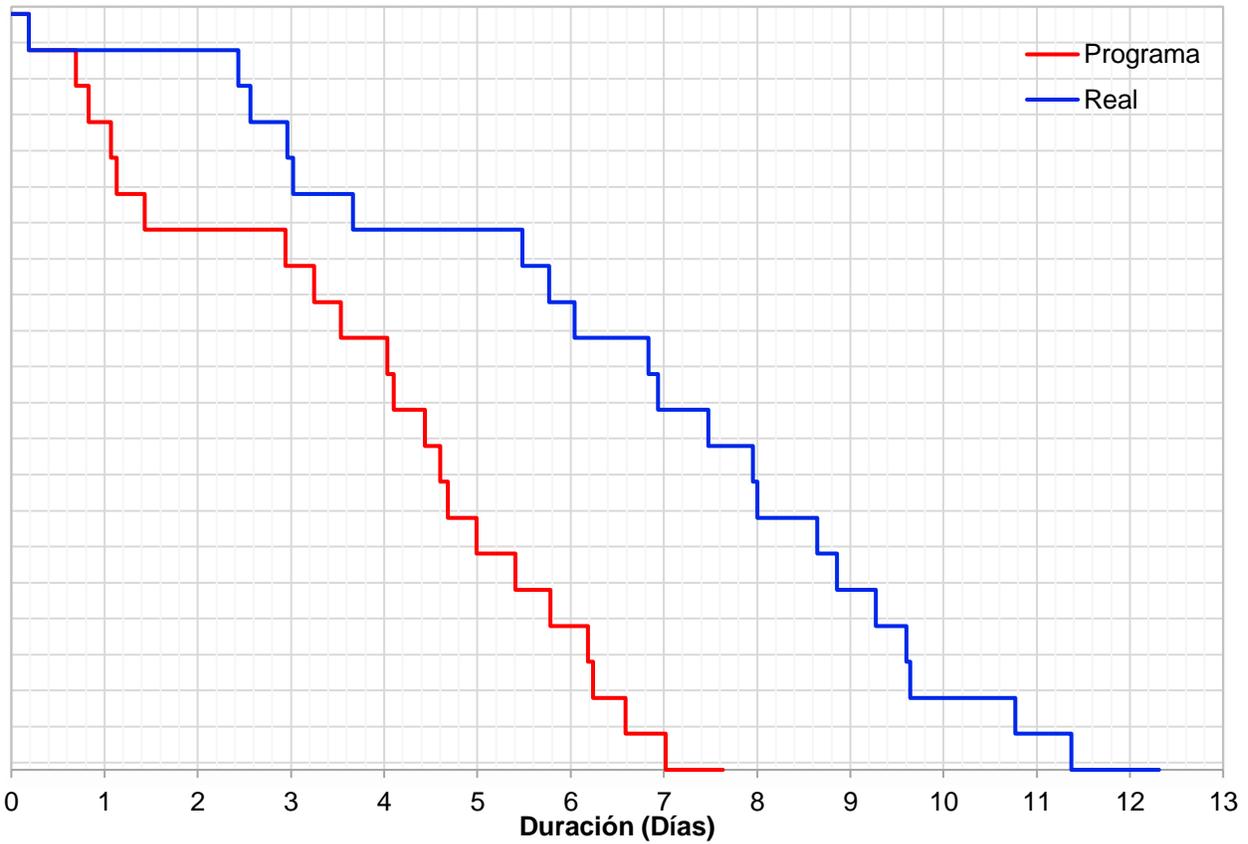


Ilustración 14. Gráfica de distribución de tiempos cambio de etapa TR 11 7/8".

Por lo que, sustituyendo los datos obtenidos se sustituye en la fórmula para cálculo de eficiencia:

$$\left( \frac{(211.96 \text{ hrs})}{(402.50 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 52.66\%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Ajusta y espera cadena de trasmisión del malacate	27.5
2	Efectuó reconocimiento	6
3	Reparó palanca del freno	7.5
4	Reparó fuga en válvula de presa de baches	1.5
5	Problemas para liberar freno de emergencia del malacate	1
6	Apoyo al activo para bombear diesel en directo pozo productor aledaño	11.5
7	Centró pozo con cartabones y aseguro BOP's	6
8	Falla línea de aire del embrague del malacate	1.5
9	Efectúa maniobra para eliminar DC 8"	5
10	Suspende introducción para recibir materiales de Carmen	2.5
11	Armó 38 lingadas de TP 5"	10
12	Suspendió introducción por calentamiento de la UPH	2.5
13	Reconoció PI con bbo	2
	Espera barco lodero por MCC	18
	Efectuó cambio de guardia en vuelo	1
	Apoyo al activo para arrancar sistema BEC en pozos productores en la plataforma	108
	Reparó falla frenos del malacate	15.5
	Total	227

Tabla 30. Tiempos no productivos cambio de etapa TR 11 7/8"

La suma total de horas en NPT's es de 227 horas, realizando la diferencia de tiempos se obtiene:

$$402.5 - 227 = 175.5 \text{ hrs}$$

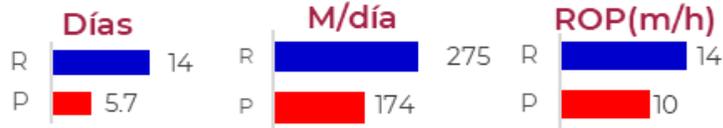
$$\left( \frac{(211.96 \text{ hrs})}{(175.5 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 120.8\%$$

Como se puede observar, para la eficiencia sin NPT's se ve mejorada en un 20.8% del programa lo cual representa un ahorro de tiempo de 36.46 horas.

## Etapa de perforación con barrena de 10 5/8" para introducción de Liner 9 5/8"

### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



*Ilustración 15. Condiciones de perforación en la etapa Liner 9 5/8".*

Durante la perforación de esta etapa se presentaron varios inconvenientes los cuales derivaron en el incremento del tiempo ocupado para la perforación de esta etapa. Un resumen de los sucesos más importantes de NPT es el siguiente:

Con una barrena PDC de 10 5/8" y sarta rotatoria, se perforó hasta los 3079 metros, donde se suspendió debido a una fuga en los módulos de succión #1, #2 y #3 de la bomba #2. Se reapretaron las tapas de válvulas por parte del personal de la compañía BZN y se continuó perforando hasta los 3414 metros, donde se suspendió debido al bajo voltaje de la batería del sistema rotatorio.

Después de resolver estos problemas, se continuó perforando hasta los 3492 metros, donde se intentó levantar la sarta sin éxito debido a una obstrucción. Se activaron los calipers y se aseguró el pozo en espera de mejores condiciones climáticas debido al frente frío número 3.

Luego, se levantó la tubería de perforación de 5" a la superficie y se continuó armando la barrena PDC de 10 5/8". A los 684 metros, se suspendió la operación debido a fuertes vientos. Se levantó la barrena de 10 5/8" debido a la presencia de una turbonada y se aseguró el pozo con la tubería de perforación de 5" a los 500 metros.

La perforación se reanudó hasta los 3542 metros, donde se suspendió debido a un black out. Finalmente, se completó la perforación a los 4031 metros con la barrena PDC de 10 5/8".

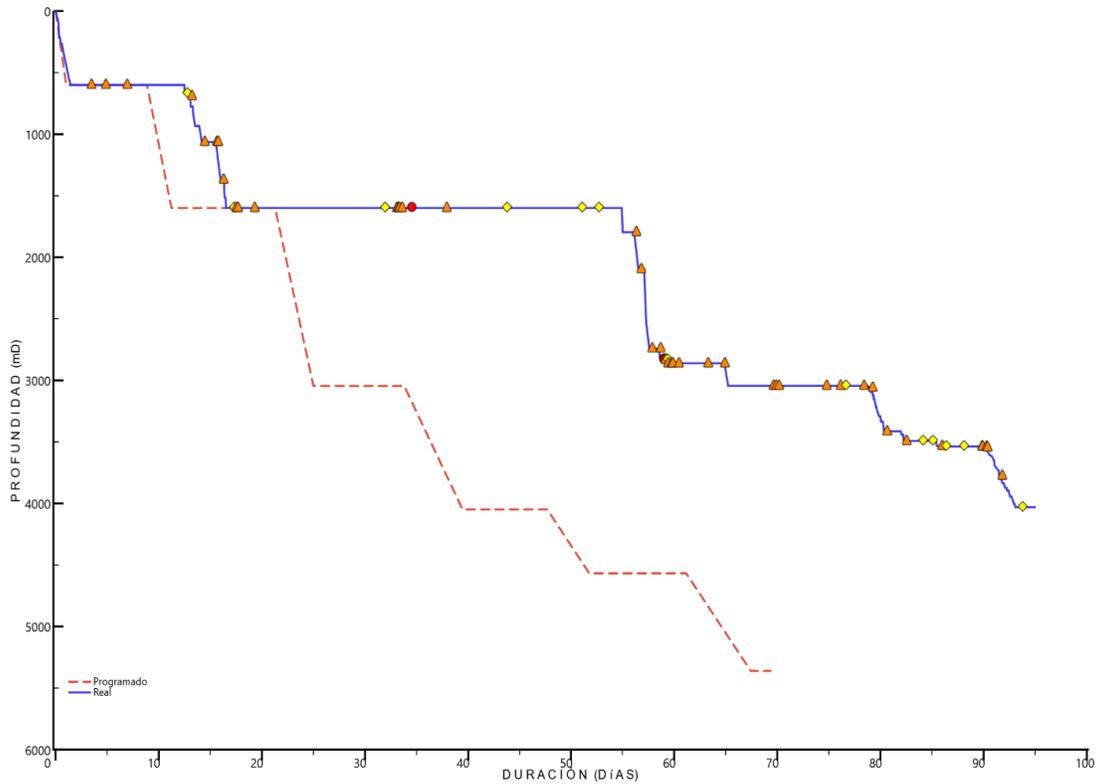


Ilustración 16. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa Liner 9 5/8".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(136.8 \text{ hrs})}{(336 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 40.71 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Suspende por fuga en módulos #1 y #2 de la bomba #2	0.5
2	Cambio empaques de módulos 2 y 3 de la bomba #2	0.5
3	Falla bomba #1	0.5
4	Suspende por baja presión en cámara de pulsaciones	0.5
5	Suspende por bajo voltaje del rotatorio Magnus	39
6	Suspende por falla en el MWD	31.8
7	Espera mejores condiciones meteorológicas por frente frío #3	17
8	Suspende por falta de avance con cargo a compañía	72.5
9	Espera mejores condiciones meteorológicas por paso de tormenta Karl	26.5
10	Suspende por salida del generador #1	0.5
11	Suspende por black out alta temperatura en el generador	2.5
12	Circulo a bajo gasto para cambio de pistones por fuga	1
	Total	192.8

Tabla 31. Tiempos no productivos en perforación de etapa Liner 9 5/8"

La suma total de horas en NPT's es de 192.8 horas, realizando la diferencia de tiempos y el cálculo de eficiencia se obtiene:

$$336 - 192.8 = 143.2 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(136.8 \text{ hrs})}{(143.2 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 95.53\%$$

Como se puede observar en esta etapa, después de la discretización de los tiempos NPT's se obtuvo una eficiencia aceptable para la perforación de la etapa, teniendo un atraso de la perforación de la etapa de 6.4 horas.

### Cambio de etapa

Las actividades realizadas en el cambio de etapa posterior a la perforación de la etapa son las siguientes:

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
1	Circular y acondicionar agujero	7.50	3.50
2	Levantar barrena de 10 5/8" a superficie	15.92	42.00
3	Corte y desliz de cable	3.92	4.00
4	Desmantelar sarta	3.30	7.50
5	Recuperar buje de desgaste.	1.33	2.00
6	Realizar cambio de RAM's	4.75	7.50
7	Realizar preparativos e instalar equipo para introducir Liner 9 5/8"	5.58	29.00
8	Meter Liner 9 5/8" con colgador rotatorio, zapata perforadora y cople diferencial a 2028 m	44.75	35.00
9	Anclar colgador	3.00	5.50
10	Preparativos para cementar	3.80	0.00
11	Cementar Liner de 9 5/8"	4.00	0.00
12	Empacar colgador, sacar colgador a superficie	13.25	13.00
13	Desmantelar equipo de cementación	3.50	0.00
14	Desmantelar equipo de introducción	1.25	0.00
15	Armar tapón sólido y probar preventores	12.75	19.00

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
16	Instalar buje de desgaste	2.20	2.00
17	Armar sarta rotatoria con barrena 8 1/2"	9.75	7.50
18	Meter sarta rotatoria con barrena 8 1/2" hasta cima de cemento	24.33	21.50
19	Acondicionar lodo (antes de rebajar, desplazar lodo BADM por E.I.) y lavar presas	14.30	22.00
20	Probar Liner, rebajar cemento y accesorios hasta PI	17.67	18.00

*Tabla 32. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa Liner 9 5/8".*

Durante los preparativos para cementar, se observó un incremento de presión a 4,000 psi al intentar restablecer la circulación, seguido de un abatimiento a 3,800 psi en dos horas. Después de desfogar la presión y reintentar la circulación, se registró un incremento a 3,500 psi y un abatimiento de 175 psi en 15 minutos.

Durante la introducción de la sarta rotatoria con una barrena PDC de 8 ½" a los 105 metros, se suspendió debido a la activación del freno electromagnético del VDF del top drive. El personal de mantenimiento reinició el freno electromagnético para continuar.

Luego, al llegar a los 560.31 metros y armar el tramo por tramo de la tubería de perforación de 5", se suspendió nuevamente debido a la activación del freno electromagnético del VDF del top drive.

Durante el acondicionamiento del lodo, al conectar la combinación y la lingada al top drive a los 3982 metros, se suspendió debido a la observación de la banda de motor de la unidad de potencia del top drive rota.

A partir de la relación de tiempos de cambio de etapa se realiza el análisis de eficiencias para el cambio de etapa a partir de la siguiente gráfica:

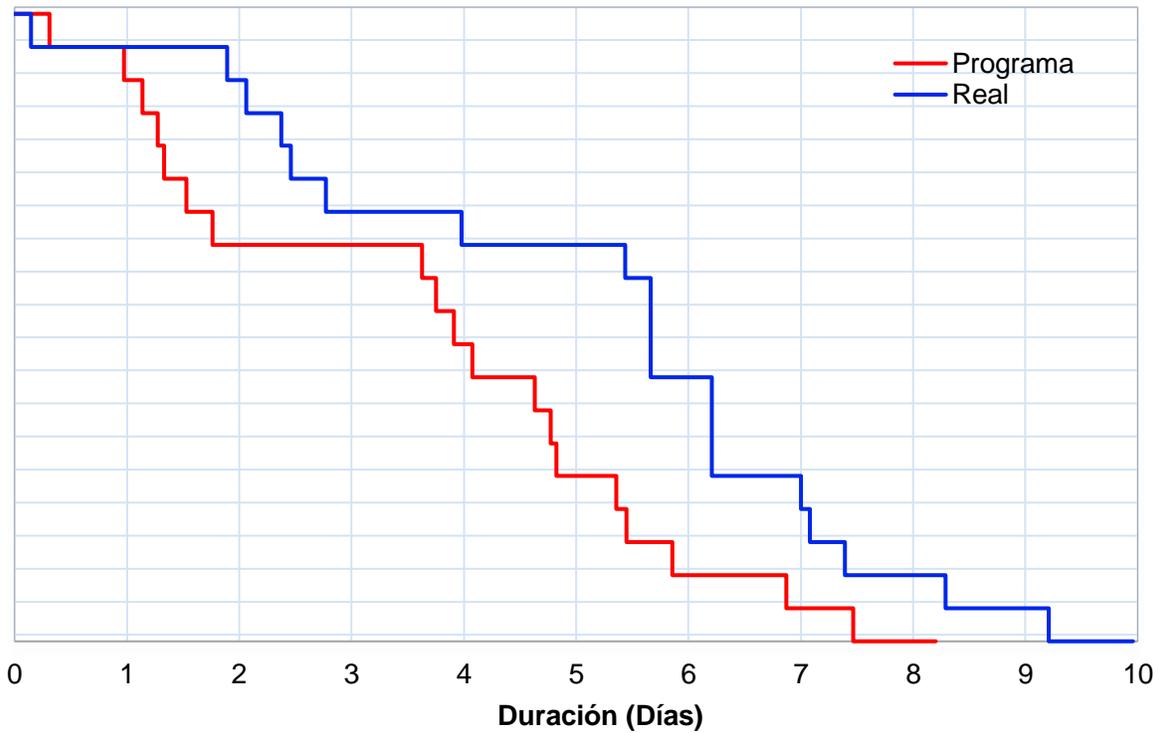


Ilustración 17. Gráfica de distribución de tiempos cabio de etapa Liner 9 5/8".

Por lo que, sustituyendo los datos obtenidos se sustituye en la fórmula para cálculo de eficiencia:

$$\left( \frac{(196.85 \text{ hrs})}{(239 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 83.20 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Levanto a 2727 m donde suspende por MCC por frente frío #4	27.5
2	Espera personal de CIA.	20
3	Atiende embarcaciones baja cajas de recortes	3.5
4	Baja liner a velocidad controlada y con bombeo y rotación	5
5	Una vez anclado el colgador intento restablecer circulación sin éxito	2.5
6	Levanto soltador lento por venir TP sobretorqueada	4
7	Suspendió cambio arietes al BOP para atender embarcación con material químico	4.5
8	Suspende por activación freno del Top Drive	3
9	Falla bomba de transferencia de combustible del Top Drive	2.5
10	Suspende por banda de motor UPH del Top Drive	3
11	Suspende por calentamiento del generador #3	0.5
12	Intenta rebajar zapata con las condiciones del prejob S/E	5.5
	Total	81.5

Tabla 33. Tiempos no productivos cambio de etapa Liner 9 5/8"

La suma total de horas en NPT's es de 81.5 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculo de eficiencia se obtiene:

$$239 - 81.5 = 157.5 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(196.85 \text{ hrs})}{(157.5 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 124.98\%$$

Como se puede observar, para la eficiencia sin NPT's se ve mejorada en un 24.98% del programa lo cual representa un ahorro de tiempo de 39.35 horas.

## Etapa de perforación con barrena de 8 ½" para introducción de Liner 7"

### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



*Ilustración 18. Condiciones de perforación en la etapa Liner 7".*

Durante la perforación de esta etapa se presentaron varios inconvenientes los cuales derivaron en el incremento del tiempo ocupado para la perforación de esta etapa. Un resumen de los sucesos más importantes de NPT es el siguiente:

La perforación con una barrena PDC de 8 ½" y sarta rotatoria alcanzó los 4045 metros, donde se suspendió debido al amarre del motor eléctrico del sistema de enfriamiento del top drive. Se recibió y cambió el motor, y se continuó perforando hasta los 4070 metros, con metros controlados debido a torques erráticos.

Posteriormente, se inició la construcción de la trayectoria y se perforó hasta los 4513 metros. Durante este proceso, se levantó continuamente la sarta debido a vibraciones laterales, y se enviaron comandos para orientar la herramienta direccional, logrando el asentamiento en el cuerpo arcilloso posterior al cuerpo de anhidrita.

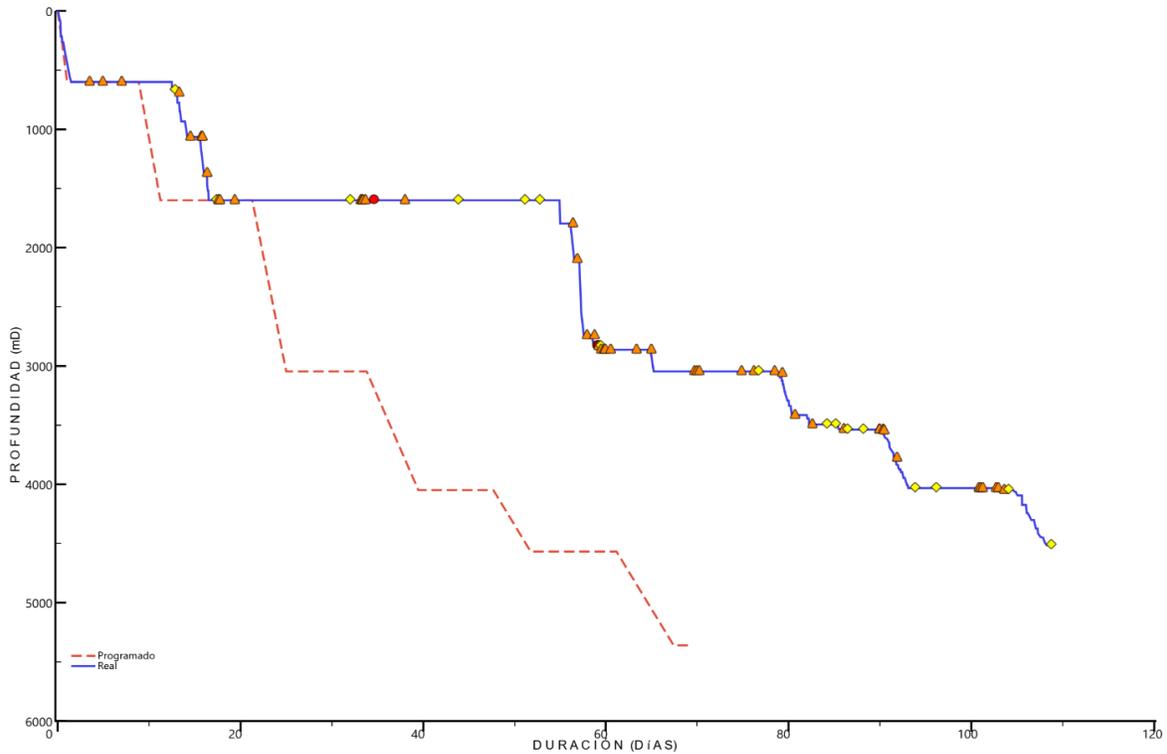


Ilustración 19. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa Liner 7".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(97.92 \text{ hrs})}{(124.32 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 78.76 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Falla del motor de enfriamiento Top Drive	28.5
2	Perfora parámetros controlados por vibraciones, teniendo que levantar sarta	9
	Total	37.5

Tabla 34. Tiempos no productivos en perforación de etapa Liner 7"

La suma total de horas en NPT's es de 37.5 horas, realizando la diferencia de tiempos y el cálculo de eficiencia se obtiene:

$$124.32 - 37.5 = 86.82 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(97.92 \text{ hrs})}{(86.82 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 112.78\%$$

Posterior a la discretización de tiempos NPT's, se puede observar que en esta etapa se tuvo una reducción de tiempos en la perforación, por lo que tenemos una eficiencia superior a la esperada por la etapa, reduciendo un total de 11.1 horas.

### Cambio de etapa

Las actividades realizadas en el cambio de etapa posterior a la perforación de la etapa son las siguientes:

N°	ACTIVIDAD	HORAS PROGRAMADAS	HORAS REALES
1	Circular y acondicionar agujero	3.00	2.50
2	Levantar barrena de 8 1/2" a superficie	23.67	19.50
3	Corte y desliz de cable	5.58	4.00
4	Desmantelar sarta	3.83	12.00
5	Recuperar buje de desgaste.	1.25	1.00
6	Instalar equipo para introducir Liner 7"	2.75	22.50
7	Meter Liner 7" con colgador rotatorio, zapata perforadora y cople diferencial a 4567 m	38.83	33.00
8	Anclar colgador	3.50	2.50
9	Preparativos para cementar	5.75	11.00
10	Cementar Liner de 7"	3.50	2.50
11	Empacar colgador, sacar colgador a superficie	17.00	17.00
12	Desmantelar equipo de cementación	2.00	1.50
13	Armar tapón sólido y probar preventores	14.70	9.50
14	Instalar buje de desgaste	1.42	1.00
15	Armar TP de 3 1/2"	19.67	40.00
16	Armar sarta con barrena de 6"	8.50	8.50
17	Meter sarta con barrena 6" hasta cima de cemento	15.50	18.00
18	Probar Liner, rebajar cemento y accesorios hasta PI	18.20	65.50
19	Acondicionar lodo (desplazar lodo de E.I. por Thixsal) y lavar presas	36.83	39.00

Tabla 35. Distribución de tiempos programados contra tiempos reales etapa Liner 7"

Durante el levantamiento de la sarta con una barrena de 8 ½" y sarta rotatoria a 3,400 metros, se suspendió debido a malas condiciones climatológicas con vientos de 55 km/hr.

En la instalación del equipo para introducir el Liner de 7", se realizó una espera de combinación para el colgador, mientras se armaba el pescante y se alojaba el buje de desgaste en el nido del cabezal. Se subió la combinación, se colocó aceite hidráulico para lubricar las copas y se efectuaron maniobras para conectar el conjunto colgador al TR 7", logrando un apriete óptimo de las TR's.

Al meter la zapata perforadora de 8 1/2" con TR 7" a 130 metros, se presentó una operación lenta debido a la falta de una pistola neumática y la falta de pericia de la cuadrilla de TR's.

Durante la actividad de probar el Liner, se intentó rebajar el cemento sin éxito, y se llevó a cabo el levantamiento de la barrena PDC 6 1/2" y sarta lisa a 3750 metros, llenando el volumen de acero extraído con fluido de control, y quebrando el TP debido a un sobre torque.

Se realizó mantenimiento al top-drive, cambiando la válvula IBOP y dejándolo operativo al 100%. Se bajó la barrena PDC 6 1/2" y sarta lisa a 1076 metros, cuantificando el desplazamiento en presas de trabajo.

En la conclusión del cambio de etapa, se registraron los tiempos considerando los incidentes que generaron retrasos en la finalización de la etapa de introducción del Liner de 7".

A partir de la relación de tiempos de cambio de etapa se realiza el análisis de eficiencias para el cambio de etapa a partir de la siguiente gráfica:

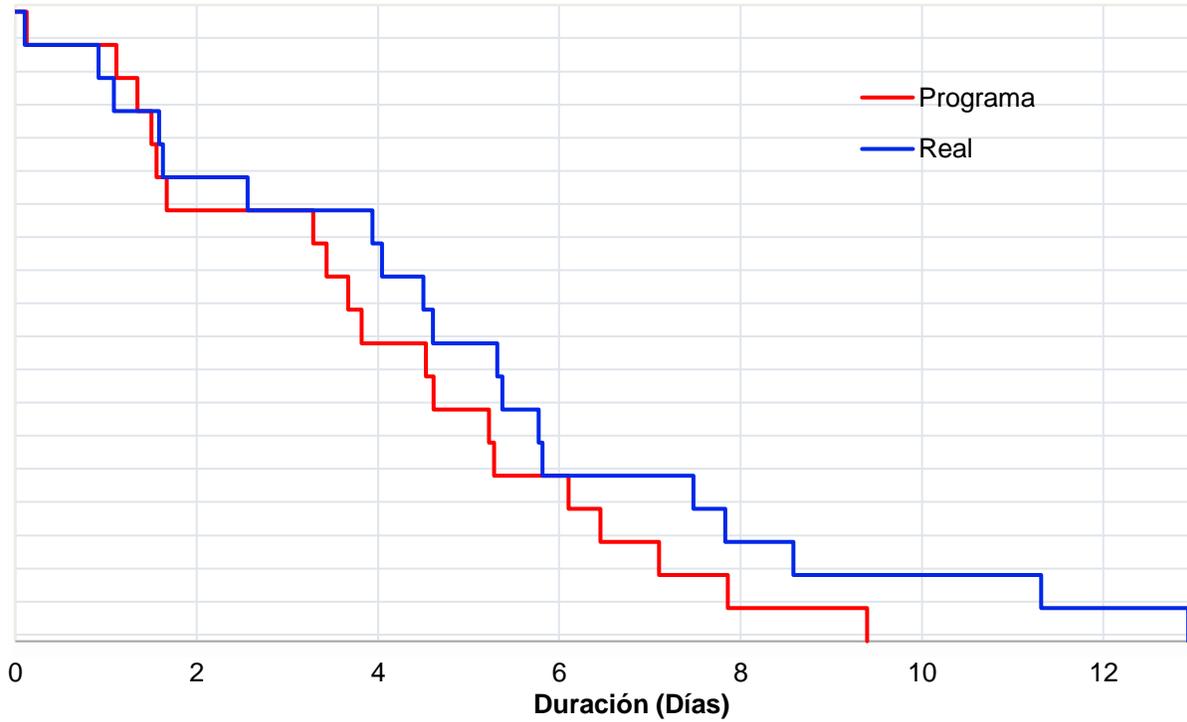


Ilustración 20. Gráfica de distribución de tiempos cambio de etapa Liner 7".

Por lo que, sustituyendo los datos obtenidos se sustituye en la fórmula para cálculo de eficiencia:

$$\left( \frac{(225.48 \text{ hrs})}{(310.5 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 72.61 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Levantó equipo de fondo a 4196 m donde suspende	0.5
2	Cambio malacate neumático	4
3	Levantó equipo de fondo a 3400 m donde suspende por onda tropical "Lisa"	10.5
4	Levantó a superficie observa TP sobretorquedada	4
5	Mantenimiento al Top Drive	0.5
6	Simulacro	1
7	Esperó combinación y colocó en el colgador	15
8	Operación lenta por deficiencia en mordazas de llave apriete TRS, no contaba con pistolas neumática y falta de experiencia	3
9	Suspende introducción por lluvia	2
10	Reconoció fondo con bombeo y rotación	2.5
11	Se generó bache espaciador	4
12	Levantó quebrando 22 lingadas de TP 5"	7.5
13	Recibió DC 4 3/4"	1.5
14	Fuera programa bajar a rebajar con sarta lisa	20.5
15	Suspende rebajado cemento a 4490 m por falta de avance	45
16	Bajó barrena a 4488 m, donde checó resistencia, circuló observando salida de 1.17 g/cm <sup>3</sup> , circuló acondicionando lodo	8.5
	Total	130

Tabla 36. Tiempos no productivos cambio de etapa Liner 7"

La suma total de horas en NPT's es de 130 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculos de eficiencia se obtiene:

$$310.5 - 130 = 180.5 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(225.48 \text{ hrs})}{(180.5 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 124.91\%$$

Como se puede observar, para la eficiencia sin NPT's se ve mejorada en un 24.91% del programa lo cual representa un ahorro de tiempo de 44.98 horas.

## Etapa de perforación con barrena de 6" dejando perforación en agujero descubierto

### Perforación

Durante la perforación de la etapa se monitorean las condiciones de operación, siendo estas las siguientes:



Ilustración 21. Condiciones de perforación en la etapa AD 6".

Durante la perforación de esta etapa se presentaron varios inconvenientes los cuales derivaron en el incremento del tiempo ocupado para la perforación de esta etapa. Un resumen de los sucesos más importantes de NPT es el siguiente:

Con una barrena PDC de 6" y sarta rotatoria, se perforó hasta los 4961 metros utilizando lodo Bamul 1.25 g/cm<sup>3</sup>. La perforación se suspendió debido a una falla en la turbina del sistema rotatorio Magnus. Se levantó la sarta con arrastres de 15 toneladas, se sacó con bombeo y rotación, conformando el agujero hasta 5 metros dentro de la zapata de 7". Luego se levantó quebrando el TP con llaves del equipo hasta la superficie, se cambió y se bajó un nuevo equipo de fondo con bombeo y rotación, reconociendo el fondo perforado a 4961 metros libre.

La perforación continuó hasta los 5167 metros, donde el geólogo reportó trazas de anhídrita. Se siguió perforando hasta los 5174 metros, donde se suspendió la operación al observar un 100% de anhídrita blanca.

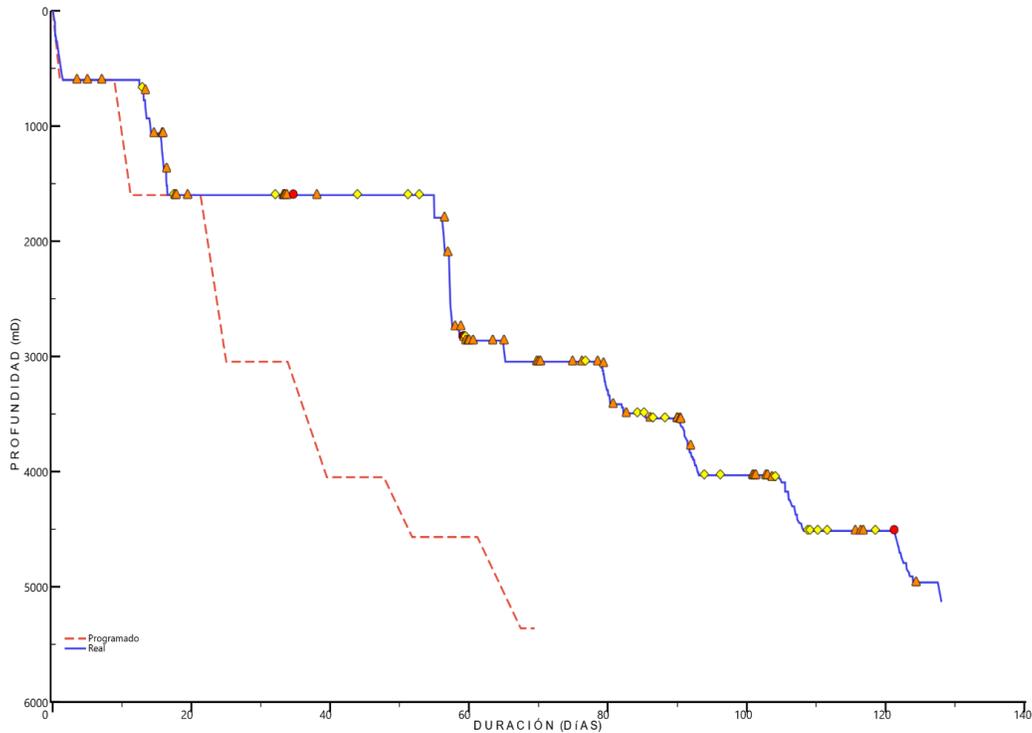


Ilustración 22. Gráfica programa de perforación contra tiempo real etapa AD 6".

Ocupando los datos obtenidos y sustituyendo en la fórmula de eficiencia se obtiene:

$$\left( \frac{(125.28 \text{ hrs})}{(172.56 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 72.60 \%$$

La reducción de tiempos por NPT como resumen es la siguiente:

No.	Tiempo no productivo (NPT)	Tiempo (horas)
1	Falla en turbina del sistema rotatorio	67
	Total	67

Tabla 37. Tiempos no productivos en perforación de etapa AD 6"

La suma total de horas en NPT's es de 67 horas, realizando la diferencia de tiempos y cálculos de eficiencia se obtiene:

$$172.56 - 67 = 105.56 \text{ hrs}$$

$$\left( \frac{(125.28 \text{ hrs})}{(105.56 \text{ hrs})} \right) \times 100 = 118.68\%$$

Posterior a la discretización de tiempos NPT's, se puede observar que en esta etapa se tuvo una reducción de tiempos en la perforación, por lo que tenemos una eficiencia superior a la esperada por la etapa, reduciendo un total de 19.72 horas.

## CAPÍTULO 3

### Diseño y propuesta de mejoras en el sistema de confiabilidad operativa

La mejora continua de procesos se refiere a la investigación y la identificación continuas de formas de cambiar y mejorar procesos, productos y servicios. El propósito es descubrir continuamente dónde hay un problema con el sistema, como ineficiencias, errores humanos, demoras, desperdicio de dinero, lo que sea que suceda, todo en nombre de mejorar el rendimiento del proceso.

La Mejora Continua consta de tres pilares importantes, y es importante considerar estos pilares porque el proceso no será efectivo si no se consideran incorrectos o ineficaces.

- **Continuidad:** Es necesario tener en cuenta que no existe la perfección en los procesos, por lo que siempre hay una forma de mejorar y esta búsqueda debe de ser constante.
- **Cultura:** Para que la continuidad sea posible, es necesario incorporar esta cultura de proceso en todo el equipo para que se convierta en un hábito en la rutina del trabajo.
- **Beneficios:** Es importante que las mejoras sean pensadas y ejecutadas de forma que aporten beneficios a todas las áreas involucradas en los procesos empresariales, por lo que, al tener una operación basada en procesos se entiende que cada cambio impacta en el trabajo y el resultado de cada uno de los involucrados. <sup>(46)</sup>

#### 1.1. Beneficios de la mejora continua

Debido a que la mejora continua se enfoca en mejoras de eficiencia, esto se resume en un incremento en su desempeño aumentará el valor de mercado de sus productos y servicios, al tener una eficiencia mayor de su proceso y reducir el desperdicio.

Al aplicar la mejora continua se aportan varios beneficios a los procesos realizados en una empresa con mejoras incrementales, tales como:

##### Simplificación de los flujos de trabajo

La optimización diaria está diseñada para minimizar los pasos innecesarios y centrarse en las actividades más importantes para producir los mejores resultados.

Esto hace que los procesos de trabajo sean más sencillos y simples, con más agilidad, reducción de tiempo, esfuerzo y recursos.

<sup>(46)</sup> Adaptado de G. M. Tello Bravo, "Diseño e implementación de tiempos estándares para la mejora de la productividad en Jomsatel s.a.c. (1.a ed.)", 2020.

<sup>(47)</sup> Adaptado de D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005.

## Reducir los costos y los desechos

Para este enfoque, es importante eliminar las pérdidas y retrasos en la producción, así como la pérdida de productividad de la empresa. Al eliminar el desperdicio, puede reducir los costos operativos, mejora el flujo de efectivo y aumenta las ganancias.

## Minimización de errores

Los errores son muy comunes en el trabajo, ya que las operaciones son realizadas por capital humano, lo cual nos deja expuesto a errores humanos. Sin embargo, al comprender todos los aspectos del flujo de trabajo, se pueden identificar los errores más evidentes, brindar capacitación y mejorar el proceso de aprendizaje para el equipo.

Al usar otros métodos, eliminamos el error humano. Reducir los errores significa evitar la repetición del trabajo y aumentar la productividad.

## Aumentar la capacidad de adaptación al mercado

Un mercado dinámico requiere que las empresas sean flexibles y se mantengan al día con los cambios. Con operaciones ajustadas, equipos dedicados y métricas bien definidas, es posible analizar rápidamente y tomar medidas cuando se necesita un cambio.

Esto garantiza la competitividad del mercado, ya que quienes no se adaptan a las exigencias pierden su lugar en el mercado.

## Mejorar la experiencia del cliente

El objetivo del proceso de mejora es siempre beneficiar al cliente, por ejemplo, la satisfacción con su servicio o producto aumenta, el cliente será fidelizado y recomendará la empresa a otros clientes, dando como resultado un aumento en la rentabilidad del negocio. <sup>(47)</sup>

<sup>(46)</sup> Adaptado de G. M. Tello Bravo, "Diseño e implementación de tiempos estándares para la mejora de la productividad en Jomsatel s.a.c. (1.a ed.)", 2020.

<sup>(47)</sup> Adaptado de D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005.

## 1.2. Metodología de mejora continua aplicada al caso de estudio: Six sigma

*SIX SIGMA* es un sistema de gestión de calidad y una herramienta de evaluación diseñada para mejorar el desempeño al tomar las decisiones correctas, lo que permite a las organizaciones comprender las necesidades de sus clientes. El método *Six sigma*, conocido como **DMAMC**, o por sus siglas en inglés **DMAIC** (**D**efine, **M**easure, **A**nalyze, **I**mprove, **C**ontrol), se basa en el ciclo de calidad PDCA, siendo este un acrónimo de cada uno de los pasos que comprende, por sus iniciales en inglés así: **P** (Plan), **D** (Do), **C** (Check), **A** (Action), conocido también conocido como rueda de Deming, en donde las etapas se operacionalizan, de la siguiente manera:

1. Definición del proyecto.
2. Medición de la información suministrada por el proceso y los clientes de la organización.
3. Análisis de la información, en donde se aplica algunas herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.
4. Mejoramiento, etapa en la cual se proponen las soluciones de los problemas de calidad planteados.
5. Control, el cual incluye los métodos estadísticos de seguimiento a las variables del proceso.

La clave para conseguir que el DMAMC se aplique en forma adecuada en la organización es la siguiente:

1. El enfoque centrado en las necesidades y los requerimientos de los clientes.
2. La identificación de las causas de los problemas que atentan contra la calidad del producto final o del servicio prestado, evitando las soluciones apresuradas que generen decisiones erradas y sin fundamento estadístico.
3. La realización de las mediciones de todas las variables críticas del proceso, lo que implica el conocimiento profundo de cada una de las etapas o fases que conforman las actividades de la organización.
4. La utilización de las herramientas estadísticas apropiadas que conduzcan a soluciones válidas y efectivas.
5. El control mediante un seguimiento constante que evalúe las diferentes actividades que se encaminen a la solución de un problema de calidad. <sup>(48)</sup>

<sup>(48)</sup> Adaptado de A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

Six Sigma es una herramienta de gestión que permite a las organizaciones y empleados adaptarse continuamente a las necesidades del cliente. Se basa en la cooperación como una forma de construir la fuerza competitiva de la organización y las personas involucradas. Para lograr estos objetivos, Six Sigma se basa en cinco pasos, que son:

1. Identificar problemas de calidad.
2. Obtener información precisa sobre cada tipo de dificultad en el proceso y evaluar su sistema de medición paralelo.
3. Usar métodos estadísticos para poder a una herramienta que analiza exhaustivamente cada problema encontrado en el proceso.
4. Mejora la optimización del proceso.
5. Permite controlar el control efectivo de los cambios. <sup>(49)</sup>

#### 1.2.1. Estructura del *Six Sigma*

Implementar Six Sigma, tiene como objeto mejorar y optimizar la organización, por medio de proyectos plausibles y medibles en el tiempo. La propuesta de Seis Sigma consiste en cinco pasos:

1. **Definir** el proyecto o problema de calidad, tomando la información suficiente que permita obtener las necesidades del cliente.
2. **Medir** las condiciones del problema, evaluando la capacidad SPC (control estadístico de los procesos), según la información suministrada por el proceso.
3. **Analizar** las causas del problema, aplicando técnicas estadísticas consistentes, tales como el diseño experimental, contraste de hipótesis, modelos lineales.
4. **Mejorar** las condiciones del proceso, identificando y cuantificando las variables críticas del proceso. Implementando soluciones adecuadas a cada una de las causas encontradas y valorando los resultados, AMEF (Análisis de modo y efecto de la falla).
5. **Controlar** las variables críticas del proceso, para que el problema de calidad no sea recurrente.

<sup>(49)</sup> Adaptado de A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

Entre los factores más importantes que caracterizan el método Seis Sigma se encuentran:

1. La teoría de aprendizaje estratégico de Peter Senge (1999), indican que el cambio en una organización genera capacidades competitivas en cada una de las personas pertenecientes a una organización, desarrollando con ello habilidades que se traducen en la profundización del conocimiento que se tenga del proceso.
2. La dirección de la organización es la encargada de motivar su implementación, establecer la estructura organizacional y el proceso de entrenamiento de cada uno de los grupos que se conformen.
3. Todos los resultados obtenidos de la implementación del Seis Sigma deben traducirse en un lenguaje métrico, esto facilita el manejo y la comprensión de los procesos.
4. El método Seis Sigma y su estructura DMAIC requiere de expertos que dominen áreas como despliegue de función de calidad, análisis de modo de fallo (AMEF), control de calidad (SPC) y diseño experimental (DOE). <sup>(50)</sup>

<sup>(50)</sup> Adaptado de E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008.

### 1.2.2. Etapa 1 *Six sigma*: Definición

En esta etapa los responsables de la aplicación del método SEIS SIGMA definen el problema de calidad mediante una planeación que involucre las expectativas y necesidades de los clientes, la identificación del proceso y de sus interrelaciones, así como también las variables críticas.

#### Criterios de la Etapa de Definición

En esta etapa la organización establece los siguientes pasos para la implementación de esta filosofía de gestión:

1. A través de un diagnóstico preliminar, la organización debe conocer e identificar las áreas susceptibles de mejora, definir las metas, objetivos y alcance del proyecto.
2. Se debe identificar y evaluar la percepción tanto de los clientes activos como de los potenciales, para mantener una respuesta acorde con sus necesidades y expectativas en todo cuanto se refiere a la fiabilidad del producto, impacto ambiental, disponibilidad, tiempo de entrega, costo y seguridad. comprender las necesidades y expectativas de los clientes es un elemento fundamental para el éxito de una organización.
3. De acuerdo con el análisis realizado en el diagnóstico se seleccionan los proyectos potenciales y se estiman los ahorros, el alcance razonable de tiempo que cada uno genera.
4. La caracterización de los procesos es de suma importancia para comprender de caracterizar el proceso radica en comprender cada una de las fases o de las diversas actividades que lo conforman, pues de ella depende el grado de confiabilidad del análisis para la toma de decisiones.
5. Selección del Líder y el equipo del Proyecto: el líder debe ser un empleado de la organización con conocimientos y experiencia en el área involucrada en el proyecto, con una comprensión suficiente de la filosofía Seis Sigma y la aplicación de las diversas herramientas que exige el DMAMC, y lo más importante es la capacidad para transmitir al equipo sus ideas, motivaciones y encausarlo hacia los resultados que la organización espera del proyecto. <sup>(51)</sup>

---

<sup>(51)</sup> Adaptado de E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008, y A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

### 1.2.3. Etapa 2 *Six sigma*: Medición

Es importante destacar que las mediciones cobran su importancia cuando las decisiones se basan en hechos objetivos. Por lo tanto, en esta instancia resulta fundamental el conocimiento que la organización tenga acerca de la aplicación de los métodos estadísticos. Si una empresa fundamenta el tratamiento de la información recolectada únicamente en técnicas estadísticas descriptivas, el análisis que se realice del proceso será superficial e implicaría toma de decisiones erradas, generando de esta manera elevados costos atribuibles a la falta de calidad.

#### Medición organizacional de los procesos

La organización debe planificar e implementar procedimientos de seguimiento con el propósito de validar la información que toma del proceso, como la medición y evaluación del producto, la capacidad del proceso, los indicadores de gestión del proyecto y la satisfacción de los clientes externos e internos. La filosofía de Six sigma posee un enfoque basado en procesos. Es imperativo entonces tomar la información de las fases que componen esta estructura. Las áreas en las cuales se debe tomar información son el área de entrada al proceso, el área que integra las distintas actividades del proceso, el área de salida del proceso y el área de satisfacción del cliente.

### 1.2.4. Etapa 3 *Six sigma*: Analizar

Es la etapa más importante de la filosofía Seis Sigma, ya que se deben aplicar todas las herramientas estadísticas que se ajusten a la información suministrada por el proceso. Una selección adecuada del método estadístico permitirá sin lugar a duda obtener mejores beneficios y con ello acceder a un análisis muy cercano a la realidad.

Entre estos métodos de análisis, encontramos los más sencillos como el Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa y efecto como paso previo al análisis inicial. También encontramos herramientas igualmente válidas como son: el diagrama de dispersión, el modelo lineal con su coeficiente de correlación y determinación.

Existen herramientas especializadas que necesariamente el responsable en la organización, de implementar el método Six sigma debe conocer o en su defecto contratar personal experto, como es el caso de herramientas estadísticas como el control estadístico de procesos y el diseño experimental. <sup>(52)</sup>

---

<sup>(52)</sup> Adaptado de E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008, y A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

### 1.2.5. Etapa 4 *Six sigma*: Mejorar

En esta etapa la organización debe mejorar continuamente en términos de la eficacia de sus procesos, de tal manera que permita llevar a cabo nuevas técnicas o formas más efectivas de optimización. Para lograr este mejoramiento la organización debe comprometerse a determinar las tendencias del producto y a establecer el nivel de satisfacción del cliente, a la vez que debe realizar estudios comparativos de su desempeño y nivel de competitividad con respecto a otras organizaciones. Técnicas de mejoramiento como el AMEF (Análisis de modos y efecto de fallas), el diseño experimental ayuda a la toma de decisiones adecuadas en la organización.

#### Diseño Experimental Unifactorial

El diseño experimental es otra de las herramientas más aplicadas en el mejoramiento y optimización de un proceso. Aquí, mediante una técnica denominada análisis de varianza se cuantifica el efecto de diferentes niveles o tratamientos sobre una variable respuesta que se constituye en objeto de interés. Uno de los principales objetivos del análisis de los datos en un diseño experimental es cuantificar y evaluar la importancia de las fuentes de variación atribuida a distintos niveles de uno o varios factores de clasificación o tratamientos.

#### Análisis del Modo y Efecto de Fallas Potenciales

Una herramienta útil para llevar a cabo la etapa de mejoramiento continuo es el análisis del modo y efecto de fallas, AMEF, mediante el cual se identifica el problema y sus posibles causas, así como también se proponen posibles soluciones, se estipulan los responsables y las fechas establecidas para la ejecución de estas. La técnica AMEF se basa fundamentalmente en procedimientos de observación y descripción constantes, por lo que es poco objetiva y su utilización se restringe a casos poco complejos de análisis. <sup>(53)</sup>

<sup>(53)</sup> Adaptado de E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008, y A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

### 1.2.6. Etapa 5 *Six sigma*: Controlar

Esta etapa permite verificar la efectividad y la eficacia de los diversos cambios que sufre el proceso no a través de las diversas etapas de mejora. Es indispensable entonces definir unos indicadores que nos muestre el nivel de desempeño de la organización. Las ciencias estadísticas permiten utilizar un sinnúmero de aplicaciones para conocer el estado de un proceso bajo los eventos que ofrece la información recolectada en la organización. Entre los métodos o procedimientos aplicados para realizar el control a un proceso se encuentran herramientas tales como los gráficos de control univariada por variables y capacidad del proceso; las anteriores herramientas son aplicadas cuando las variables son cuantitativas, gráficas univariadas por atributos cuando las variables son cualitativas, las gráficas de control multivariadas y el diseño de experimentos.

Algunas de las actividades clave durante la etapa de Controlar incluyen:

- Desarrollo de planes de control: Se elaboran planes detallados que incluyen procedimientos, instrucciones y criterios de medición para supervisar el rendimiento del proceso.
- Implementación de controles: Se establecen sistemas de control para monitorear continuamente el proceso y detectar cualquier desviación de los estándares establecidos.
- Capacitación y comunicación: Se capacita al personal involucrado en el proceso sobre los nuevos procedimientos y controles implementados. También se comunica de manera efectiva la importancia de mantener las mejoras realizadas.
- Seguimiento y retroalimentación: Se lleva a cabo un seguimiento regular del desempeño del proceso utilizando indicadores clave de rendimiento (KPIs). Se proporciona retroalimentación al equipo para abordar cualquier problema o desviación identificada. <sup>(54)</sup>

<sup>(54)</sup> Adaptado de E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008, y A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

## CAPÍTULO 4

### Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa

Para abordar la problemática expuesta, se propone la siguiente metodología, la cual es un proceso estructurado que se centra en mejorar el desempeño comercial basado en la voz del cliente (VOC) y el análisis estadístico. Esto permite reducir la variación y mejorar la calidad de un producto o servicio. Por esta razón, se pretende seguir la metodología DMAIC, que forma parte del proceso de Lean Six Sigma.

Dado que la metodología se enfoca en identificar y resolver los 'cuellos de botella' en el proceso, se presentará una tabla resumen de las etapas y sus eficiencias. Esto permitirá seleccionar la etapa del proceso que represente un mayor riesgo para los tiempos de finalización del proyecto.

Etapa	Eficiencia perforación	Eficiencia sin NPT perforación	Diferencia eficiencia perforación	Eficiencia cambio de etapa	Eficiencia sin NPT cambio de etapa	Diferencia eficiencia CE
TR 20"	70.34%	88.69%	18.35%	72.90%	121.74%	48.84%
TR 16"	52.21%	96.85%	44.64%	24.94%	135%	110.06%
TR 11 7/8"	39.34%	226.32%	186.98%	52.66%	120%	67.34%
LN 9 5/8"	40.71%	95.53%	54.82%	83.20	124.98%	41.78%
LN 7"	78.76%	112.78%	34.02%	72.61%	124.91%	52.30%
AD 6"	72.60%	118.68%	46.08%	N/A	N/A	N/A

Table 38. Resumen de eficiencias de etapas de perforación y cambio de etapa.

#### 1.1. Definir

En la primera fase se define el problema o la oportunidad de mejora, es considerada una fase muy importante, ya que, si no se define correctamente el problema desde el inicio surgirán dificultades para desarrollar una solución adecuada en las etapas posteriores, ya que en este caso se están analizando las eficiencias de perforación y cambio de etapa, para este caso, será un caso enfocado en la etapa en la que se muestre una diferencia entre eficiencias grande.

En este caso se reflejaría en dos etapas en diferentes actividades, siendo en la etapa de introducción de tubería de revestimiento de 11 7/8" en el proceso de perforación, y en la etapa de introducción de tubería de revestimiento de 16" en el proceso de cambio de etapa.

### 1.1.1. Alcance

El alcance del proyecto se centra en la eficiencia del cambio de etapa en la introducción de tubería de revestimiento de 16",

Se propuso la implementación de metodología Six Sigma ya que, al estandarizar los procesos de perforación y actividades en cambio de etapa surgirán problemas recurrentes en las actividades, con esta metodología se busca mejorar desglosando y conociendo el origen de los problemas, con esto podemos identificar cuellos de botella y fallas recurrentes, así mismo, podemos elaborar planes de respuesta a problemas más específicos.

### 1.1.2. Estado actual

Para el caso de estudio que estamos proponiendo, resumiremos el estado actual del proyecto en los siguientes rubros:

- La dirección general y los coordinadores de las áreas principales no cuentan con información confiable para análisis operativo, eficiencias, etc., que permitan la rápida toma de decisiones y generación de estrategias en la solución de problemas operativos y cuellos de botella en los procesos.
- Tenemos la presencia de fallas con una duración extensa para la solución del problema, siendo este un problema recurrente en las diferentes actividades en el proceso de perforación en el caso de estudio.
- Actualmente los analistas de las áreas generan la información a solicitud y al hacerlo de manera manual, existe la consulta de distintas fuentes; así como, la recopilación y generación de reportes operativos de tal manera que la información final presenta muchos errores de redacción y no se encuentra bien clasificada.
- No se contaba con históricos que nos dijeran que tipo de información, reportes, procesos lleva más tiempo de trabajo y cuáles de ellos entregan mayor valor.

### 1.1.3. Objetivo

Tener un panorama completo de la resolución de problemas para el cambio de etapa y generar un plan de contingencia en caso de presentar problemas, esto con la finalidad de mejorar la eficiencia de las actividades programadas para la introducción de tubería de revestimiento.

Así mismo, generar mejoras que permitan:

- Visualizar de manera diaria y actualizada la información relevante de las actividades de perforación, principalmente información: operativa, NPT's y NPTI's, eficiencias y logística de materiales y personal, logrando terminar las actividades en tiempo y forma.
- Eficientar tiempos de trabajo manual de los analistas de tal manera que exista un mayor enfoque en generar estrategias de mejora a través del análisis de la información, con la finalidad de reducir al menos el 70% de actividades manuales a partir de que se liberen las automatizaciones.
- Enfoque en mejora de procesos y experiencia del cliente, generar propuestas de mejora a partir del análisis de NPT's con la información generada de manera automatizada.

#### 1.1.4. Equipo de trabajo

El equipo involucrado en las actividades realizadas en el proyecto, seleccionado de tal manera que existiera el liderazgo necesario para conocer las necesidades a fondo, recopilar la información útil para la generación de soluciones y garantizar la estandarización de mejoras a realizar, se puede observar en el siguiente organigrama:

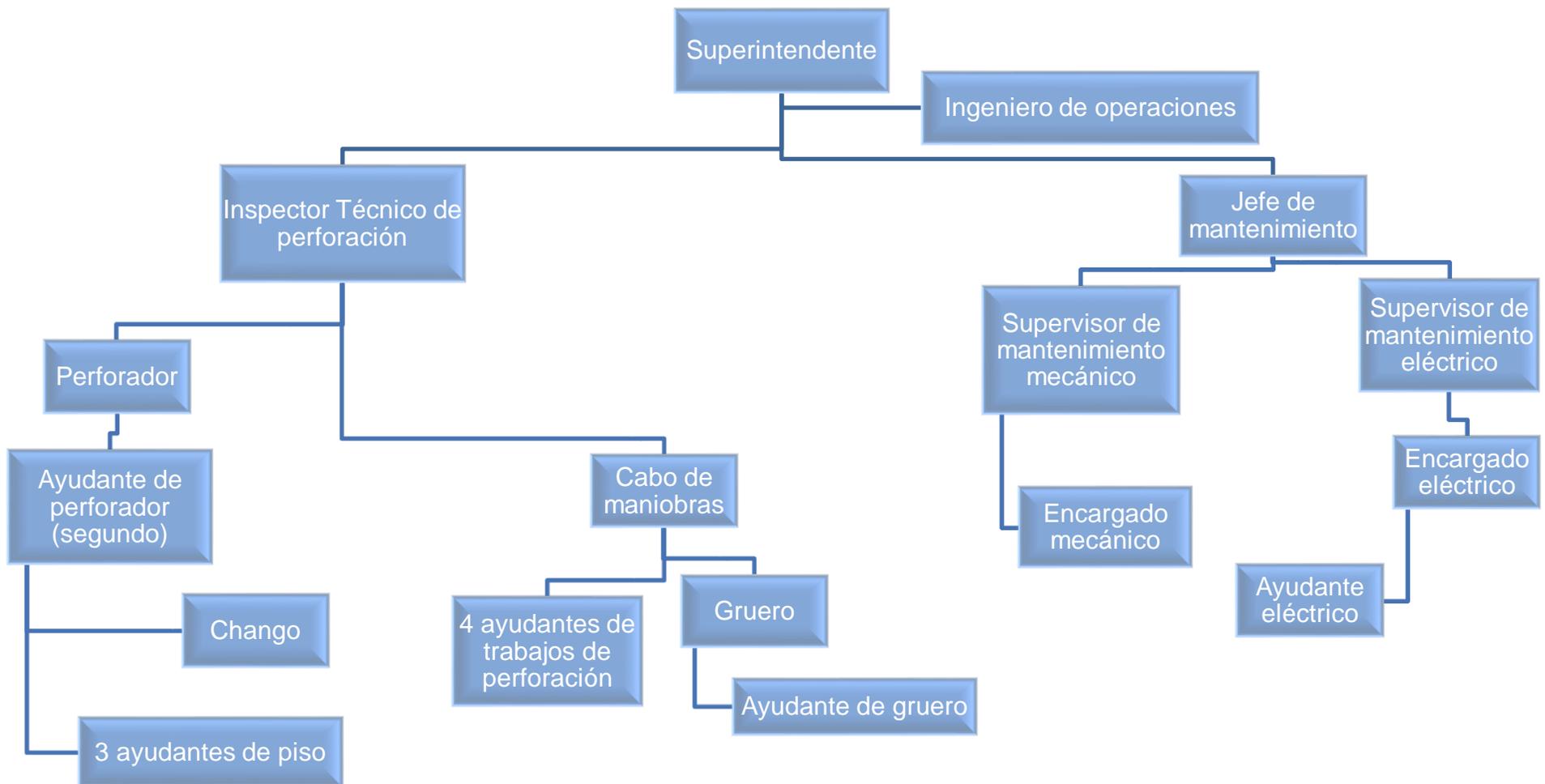


Ilustración 23. Organigrama del equipo de trabajo presente en el caso de estudio.

## 1.2. Medir

Derivado de la lluvia de ideas se definieron los problemas más comunes en la realización del cambio de etapa en la introducción de TR 16” y los que generan más problemas; entre ellos, no tener conocimiento del análisis de riesgo del proceso, falta de claridad, falta de descripción en los equipos utilizados, mala clasificación de información en los sistemas de reporte de actividades.

Al tener las sesiones desde la exploración al brainstorm (brainwriting) se definieron soluciones de rápida ejecución “quick wins”:

- Automatización de reportes clave donde se vea la información actualizada.
- Eficiencia de trabajo manual.
- Generación de propuestas de mejora de procesos y mejora a la experiencia del cliente.

### 1.2.1. Mapeo de actividades

En este trabajo, nos enfocamos en un sistema de confiabilidad operativa, y organizaremos las actividades y los cuellos de botella de acuerdo con las cuatro ramas principales del sistema: diseño, humano, equipo y proceso.

Para ello, utilizaremos un diagrama Swimlane, también conocido como diagrama de flujo multifuncional o mapa de procesos. Este tipo de diagrama es una representación visual que ayuda a ilustrar cómo diferentes individuos, departamentos o entidades contribuyen a un proceso. Se llama "diagrama de carril" porque está dividido en carriles horizontales o verticales, cada uno de los cuales representa a un participante en el proceso. Es posible personalizar el diagrama de carriles según el proceso y los participantes específicos. Este diagrama ayuda a visualizar el flujo de tareas y responsabilidades entre diferentes entidades, lo que facilita la comprensión y mejora de los procesos.<sup>(55)</sup>

Aquí hay algunos puntos adicionales a considerar al crear y personalizar un diagrama swimlane:

- **Identificar participantes:** Definir claramente los participantes o entidades involucradas en el proceso. Podrían ser departamentos, equipos, roles o cualquier otra unidad relevante.
- **Flujo secuencial:** Organice los carriles de manera que representen el flujo secuencial del proceso. Ya sea que utilice carriles horizontales o verticales, el orden debe reflejar la progresión lógica de las tareas.
- **Tareas y actividades:** etiquete claramente cada paso o tarea dentro de los carriles. Utilice etiquetas concisas y descriptivas para garantizar que cualquiera que vea el diagrama entienda fácilmente el proceso.

<sup>(55)</sup> Adaptado de D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005.

<sup>(56)</sup> Adaptado de J. M. Jacka y P. J. Keller, "Business Process Mapping: Improving Customer Satisfaction," 2002.

---

Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa

- **Bordes de carriles:** puede enfatizar la separación entre carriles utilizando bordes distintos o colores de fondo. Esto ayuda a distinguir visualmente las responsabilidades de los diferentes participantes.
- **Puntos de decisión y ramas:** si hay puntos de decisión o ramas en el proceso donde se pueden tomar diferentes acciones, represéntelos claramente con flechas y anotaciones.
- **Bucles de retroalimentación:** si hay bucles de retroalimentación o pasos iterativos en el proceso, ilústrellos adecuadamente. Esto ayuda a comprender cómo es posible que sea necesario revisar ciertas tareas.
- **Uso de símbolos:** considere usar símbolos de diagrama de flujo estándar para representar diferentes elementos del proceso, como rectángulos para tareas, diamantes para puntos de decisión y flechas para la dirección del flujo.
- **Leyenda o clave:** incluya una leyenda o clave para explicar los símbolos, colores o anotaciones utilizados en el diagrama. Esto ayuda a garantizar que cualquiera que vea el diagrama pueda comprender sus elementos.

Recuerde, el objetivo principal de un diagrama de carriles es proporcionar una visión clara y completa de un proceso, permitiendo a las partes interesadas identificar áreas de mejora y optimizar el flujo de trabajo. Personalizar el diagrama para que se ajuste al contexto específico de su organización o proyecto es crucial para su eficacia.

Para enfatizar aún más su importancia y beneficios:

- **Comprensión colaborativa:** un diagrama swimlane promueve una comprensión compartida de un proceso entre diferentes partes interesadas. Al delinear claramente las responsabilidades de los distintos participantes, resulta más fácil para todos los involucrados comprender sus roles y contribuciones.
- **Identificación de cuellos de botella:** la visualización de tareas y responsabilidades entre carriles simplifica la identificación de posibles cuellos de botella o áreas de ineficiencia en un proceso. Esto puede ser crucial para optimizar los flujos de trabajo y mejorar la eficiencia general.
- **Herramienta de comunicación:** el diagrama de carriles sirve como una poderosa herramienta de comunicación. Facilita las discusiones entre los miembros del equipo, los gerentes y otras partes interesadas al proporcionar una representación visual que a menudo es más accesible que las descripciones textuales detalladas.
- **Optimización de procesos:** una vez que se visualiza el proceso actual, resulta más fácil identificar oportunidades de optimización. Las partes interesadas pueden intercambiar ideas e implementar cambios colectivamente para mejorar la eficiencia general, reducir errores y optimizar el flujo de trabajo.

<sup>(55)</sup> Adaptado de D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005.

<sup>(56)</sup> Adaptado de J. M. Jacka y P. J. Keller, "Business Process Mapping: Improving Customer Satisfaction," 2002.

- **Recurso de capacitación:** los diagramas de carriles son valiosos para incorporar nuevos miembros al equipo o capacitar a personas en un proceso específico. La representación visual ayuda a los recién llegados a comprender el flujo de trabajo general y comprender cómo sus roles encajan en el panorama general.
- **Mejora continua:** a medida que los procesos evolucionan, el diagrama de carriles se puede actualizar para reflejar estos cambios. Esto respalda una cultura de mejora continua, donde los equipos buscan activamente formas de mejorar sus procesos a lo largo del tiempo.
- **Documentación:** El diagrama sirve como una forma de documentación para un proceso. Proporciona una instantánea de cómo se hacen las cosas en un momento específico, lo que ayuda en auditorías, verificaciones de cumplimiento o análisis históricos.

Recuerde que la eficacia de un diagrama de carriles depende de su precisión, claridad y relevancia para el contexto específico del proceso que representa. Las actualizaciones periódicas y la colaboración entre las partes interesadas son esenciales para garantizar que el diagrama siga siendo un recurso valioso y actualizado para la gestión y mejora de procesos. <sup>(56)</sup>

En el diagrama swimlane que será representativo del caso de estudio, utilizaremos la siguiente nomenclatura:

<b>Símbolo</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Proceso</b>	<b>Decisión</b>	<b>Conector</b>	<b>Inicio/Fin</b>

Tabla 39. Simbología utilizada en diagrama Swimlane pt.1.

<b>Símbolo</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Líneas de Flujo</b>	<b>Nota</b>	<b>Actividad Manual</b>	<b>Cuello de botella</b>

Tabla 40. Simbología utilizada en diagrama Swimlane pt.2.

<sup>(55)</sup> Adaptado de D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005.

<sup>(56)</sup> Adaptado de J. M. Jacka y P. J. Keller, "Business Process Mapping: Improving Customer Satisfaction," 2002.

Proceso	0	1	2	3	4
Tiempo promedio	0 Hrs	10.92 Hrs	6.92 Hrs	2.38 Hrs	6.17 Hrs
<b>Área 1: Diseño</b>					
<b>Área 2: Humana</b>	Fin de la perforación de etapa con AD 18 1/4" // inicio de cambio de etapa para introducción de TR 16"		 Malas condiciones meteorológicas		
<b>Área 3: Equipo</b>			Levantar barrena de 18 1/4" a superficie #2 	Desmantelar sarta #4 	
<b>Área 4: Proceso</b>		Circular y acondicionar agujero #1	 Falla manguera de consola del UPH	Corte y desliz de cable #3	

Tabla 41. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 1 a 4.

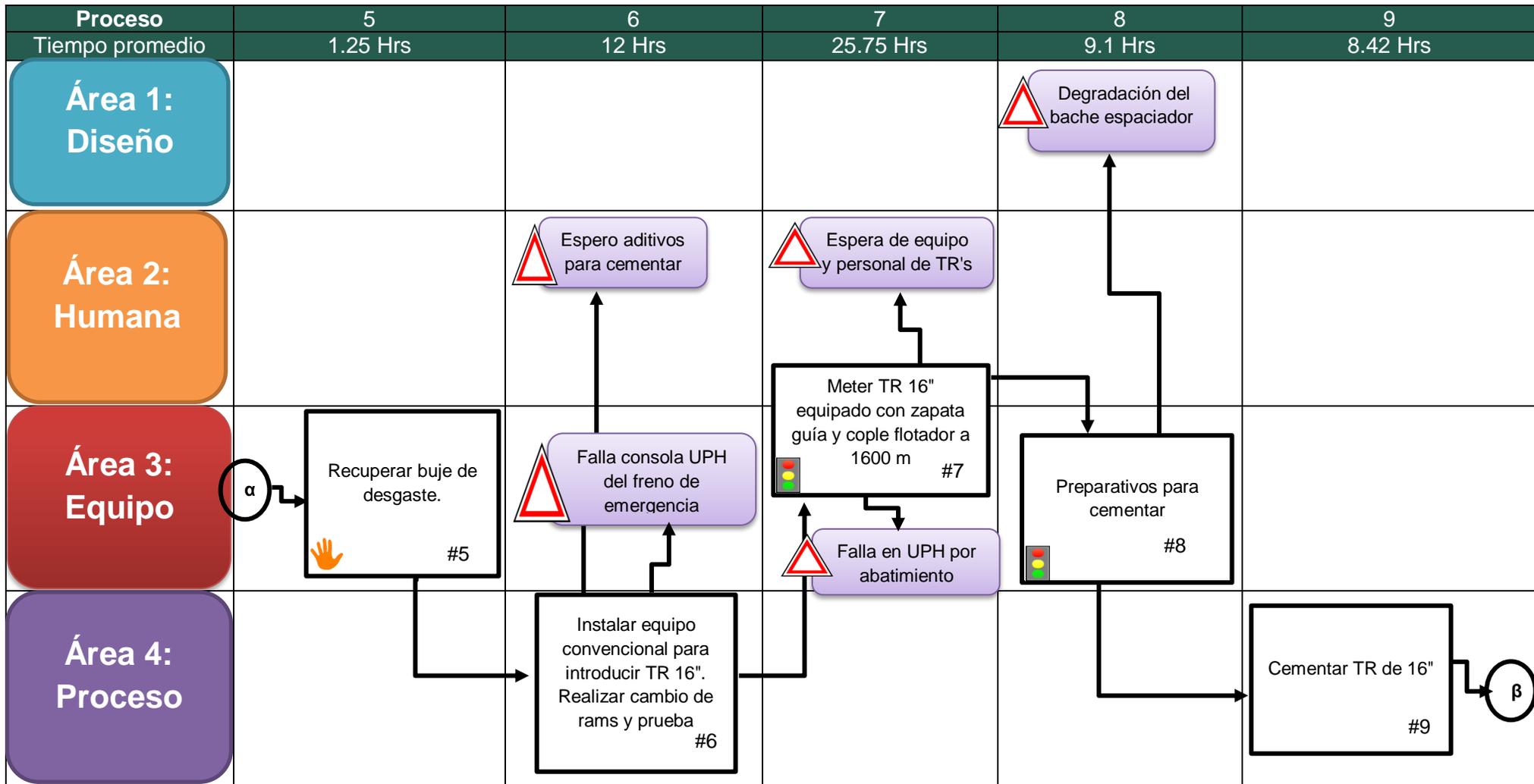


Table 42. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 5 a 9.

Proceso	10	11	12	13	14
Tiempo promedio	12.7 Hrs	1.63 Hrs	5.17 Hrs	9 Hrs	17.5 Hrs
<b>Área 1: Diseño</b>					
<b>Área 2: Humana</b>					
<b>Área 3: Equipo</b>		Desmantelar equipo de cementación #11	Desmantelar equipo de introducción #12		Desmantelar preventores 20 3/4" #14
<b>Área 4: Proceso</b>	Esperar fraguado #10			Levantar preventores 20 3/4", tensionar y sentar TR de 16" con cuñas en cabezal #13	

Table 43. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 10 a 14.

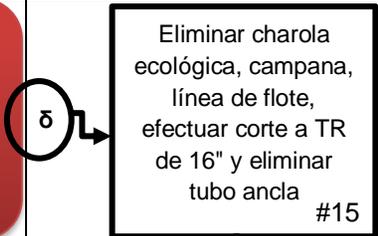
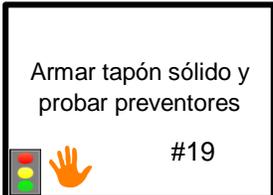
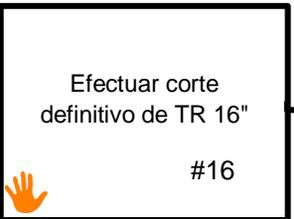
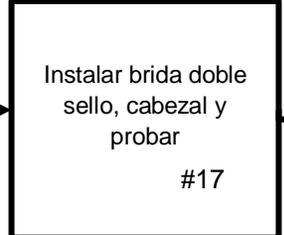
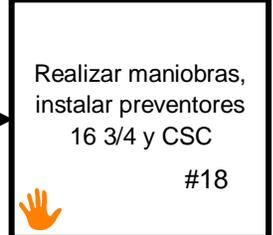
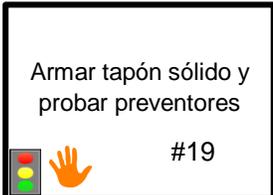
Proceso	15	16	17	18	19
Tiempo promedio	5.58 Hrs	2.58 Hrs	5.75 Hrs	27.5 Hrs	11.33 Hrs
Área 1: Diseño					
Área 2: Humana					
Área 3: Equipo					
Área 4: Proceso					 

Table 44. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 15 a 19.

Proceso	20	21	22	23	24
Tiempo promedio	18.75 Hrs	2.1 Hrs	12.33 Hrs	8.58 Hrs	10.08 Hrs
Área 1: Diseño		 <p>Espera top drive, generador y cable</p>			
Área 2: Humana					
Área 3: Equipo		<p>Instalar buje de desgaste #21</p>	<p>Armar y meter sarta con barrena 14 1/2" #22</p>		<p>Acondicionar lodo #24</p> 
Área 4: Proceso	<p>Instalar campana, charola ecológica y línea de flote #20</p>			<p>Bajar a reconocer cima de cemento P.I #23</p>	

Table 45. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 20 a 24.

Proceso	25	26			
Tiempo promedio	7.33 Hrs	0 Hrs			
Área 1: Diseño					
Área 2: Humana		Fin de cambio de etapa // Inicio de perforación de etapa con barrena de 14 1/2".			
Área 3: Equipo	λ				
Área 4: Proceso	Probar TR, rebajar cemento y accesorios hasta P.I #25				

Table 46. Mapeo de actividades clasificando cuellos de botella de las actividades 25 a 26.

### 1.2.2. Recopilación de datos

Durante la realización del caso de estudio, se identificaron y documentaron las fallas y problemas que surgieron durante las actividades. Posteriormente, en la recopilación de datos, estas fallas fueron clasificadas según la actividad en la que se presentaron.

N°	ACTIVIDAD	H-P	Días	H-R	DIF	OBSERVACIONES
1	Circular y acondicionar agujero	10.92	0.46	5.00	-5.92	
2	Levantar barrena de 18 1/4" a superficie	6.92	0.29	21.00	14.08	Levanta a 130 m donde suspende x MCC <b>(1.3 hr)</b>
3	Corte y desliz de cable	2.38	0.10	4.00	1.62	
4	Desmantelar sarta	6.17	0.26	7.50	1.33	Falla manguera de consola del UPH <b>(12.3 hr)</b> , elimina BHA suspende para bajar cajas de recortes <b>(4.5 hr)</b>
5	Recuperar buje de desgaste.	1.25	0.05	1.00	-0.25	
6	Instalar equipo convencional para introducir TR 16". Realizar cambio de RAMs y prueba	12.00	0.50	75.00	63.00	Suspende preparativos introducción para recibir TRS <b>(5 hr)</b> , Falla en la UPH <b>(307 hr)</b> , efectuó viaje de reconocimiento <b>(18.5 hr)</b> , espero equipo de TRS <b>(21.5 hr)</b>
7	Meter TR 16" equipado con zapata guía y cople flotador a 1600 m	25.75	1.07	315.00	289.25	Observa falla en computadora de TRS <b>(3 hr)</b> , introdujo lento por constante movimiento del conductor 16" y mala alineación por parte de chango de CIA <b>(10.5 hr)</b> , encontró resistencia con TR 16" a 1587 m bajo con bombeo <b>(3 hr)</b>
8	Preparativos para cementar	9.10	0.38	58.50	49.40	En la preparación de baches espaciadores se presentó gelificación, espero aditivos <b>(55 hr)</b>
9	Cementar TR de 16"	8.42	0.35	6.00	-2.42	
10	Esperar fraguado	12.70	0.53	15.00	2.30	
11	Desmantelar equipo de cementación	1.63	0.07	2.00	0.37	
12	Desmantelar equipo de introducción	5.17	0.22	5.00	-0.17	

Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa

N°	ACTIVIDAD	H-P	Días	H-R	DIF	OBSERVACIONES
13	Levantar preventores 20 3/4", tensionar y sentar TR de 16" con cuñas en cabezal	9.00	0.38	5.50	-3.50	
14	Desmantelar preventores 20 3/4"	17.50	0.73	11.00	-6.50	
15	Eliminar charola ecológica, campana, línea de flote, efectuar corte a TR de 16" y eliminar tubo ancla	5.58	0.23	4.00	-1.58	
16	Efectuar corte definitivo de TR 16"	2.58	0.11	2.00	-0.58	
17	Instalar brida doble sello, cabezal y probar	5.75	0.24	4.00	-1.75	
18	Realizar maniobras, instalar preventores 16 3/4 y CSC	27.50	1.15	22.00	-5.50	Suspendió para recibir 4 contenedores para desmantelar top drive <b>(2 hr)</b> ,
19	Armar tapón sólido y probar preventores	11.33	0.47	17.00	5.67	Metió 589 m de TP dentro del pozo <b>(3 hr)</b>
20	Instalar campana, charola ecológica y línea de flote	18.75	0.78	10.00	-8.75	
21	Instalar buje de desgaste	2.10	0.09	334.00	331.90	
22	Armar y meter sarta con barrena a 14 1/2"	12.33	0.51	11.50	-0.83	Desmantela Top Drive <b>(59 hr)</b> , espera top drive, generador y cable <b>(262 hr)</b>
23	Bajar a reconocer cima de cemento PI	8.58	0.36	8.50	-0.08	Fuera de programa se armó 8 lingadas de TP 5" 25.6# y 19 lingadas TP 5" 19.5# <b>(10 hr)</b> , recuperó cola colgada a superficie <b>(6 hr)</b>
24	Acondicionar lodo	10.08	0.42	13.50	3.42	Fuera de programa las circulaciones antes de rebajar el cemento y pruebas <b>(3.5 hr)</b>
25	Probar TR, rebajar cemento y accesorios hasta PI	7.33	0.31	7.50	0.17	
<b>TOTAL HORAS</b>		<b>240.82</b>		<b>965.50</b>	-724.68	
<b>TOTAL DIAS</b>		<b>10.0</b>		<b>40.2</b>	-30.20	

Tabla 47. Recopilación de información de etapa TR 16"

Posterior a la clasificación de los NPT se procede a realizar la suma de tiempos clasificados por el tipo de NPT correspondiente.

NPT	HRS
ESPERA	203.50
PROBLEMA	55.00
FALLA	319.5
SUSPENSIÓN	0.5
MCC	1.50
NORMAL	385.50

Tabla 48. Tiempos clasificados por tipo de NPT en etapa TR16".

Realizando una representación gráfica para tener una perspectiva de cuales fueron NPT más presentes en el cambio de etapa de introducción de TR de 16".

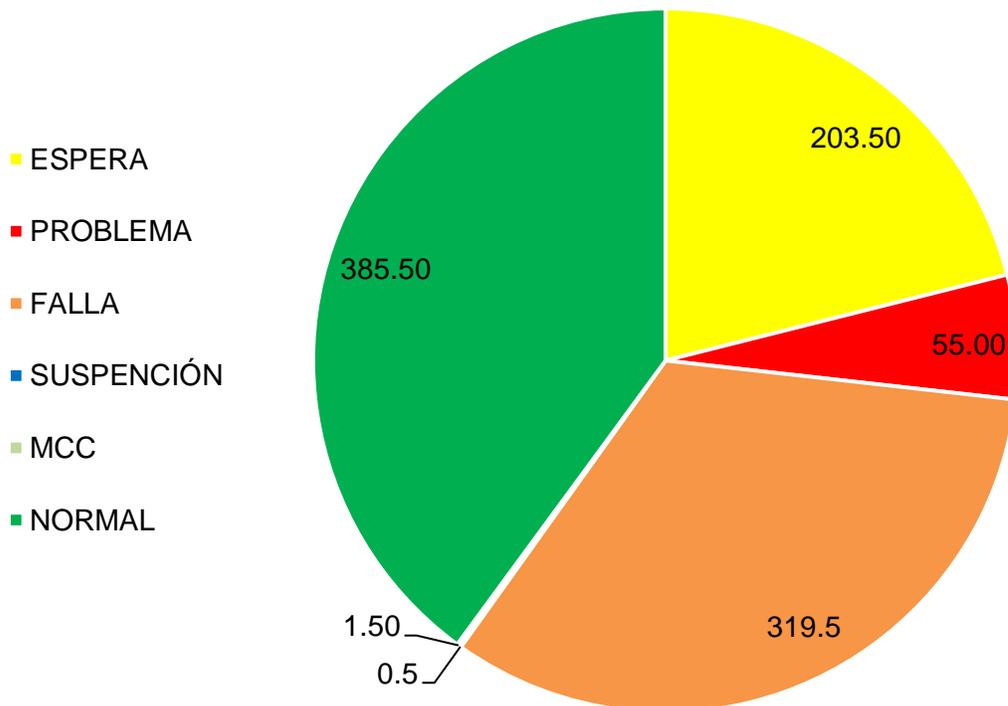


Ilustración 24. Gráfica de NPT en etapa TR 16".

### 1.3. Analizar

Tras recopilar y priorizar los datos, identificamos los informes con mayor potencial para la automatización y comenzamos a trabajar en ellos. El objetivo era lograr una rápida automatización de la información y capturar las lecciones aprendidas en el proceso.

#### 1.3.1. Información NPT's

N°	Concepto	Horas	Observaciones	Lecciones Aprendidas/Buenas prácticas
<b>NPT</b>				
1	Levanta barrena 18 1/4" a 130 m donde suspende por turbonada	1.3	Malas condiciones climatológicas	
2	Falla manguera de consola UPH del freno del malacate	12.3	No se contaba con refacciones a bordo de la plataforma, se tuvo que recibir la UPH de plataforma aledaña.	Contar con refaccionamiento en sitio.
3	Suspende desarticulación BHA para bajar cajas llenas	4.5	Se necesito desocupar el patio por tener cajas llenas de recorte, hacer espacio para recibir la TR	Contar con gruelo extra.
4	Suspende preparativos introducción recibir equipo TRS	3	Se atendió a la embarcación para recibir equipo TRS y cementaciones.	Contar con gruelo extra.
5	Suspende preparativos introducción reacomodar herramientas	2	Se continuó reacomodando materiales en patio de tuberías, para iniciar la introducción.	Contar con gruelo extra.
6	Falla en la UPH del freno del malacate	307	No se contaba con refacciones a bordo de la plataforma, se tuvo que recibir la UPH de plataforma aledaña.	Contar con refaccionamiento en sitio.
7	Espera equipo de TRS	21.3	Se contaba con el equipo bordo, se movió a plataforma cercana para refaccionamiento, de ahí se bajó a base.	Plan de acción para refaccionamiento de equipos.
8	Falla en computadora de TRS	3	Llegaron 2 computadoras una de respaldo, fallo se movieron de plataforma aledaña, fallando mismas	Certificados de inspección antes de salir de la base.
9	Introducción de TR 16" lenta en el intervalo 500-900 m	10.5	Operación lenta por mala alineación de varios tramos de TR el chango de WTF, utilizaba llave girar	Personal capacitado.
10	Bajo TR 16" a 1587 m, donde checo resistencia con 5 ton	3	Bajo con bombeo de 168-335 gpm y 12 ton bajando a 1592 m.	Contar con plan de contingencia y análisis de riesgos del proceso al actuar con rangos de operación distintos.
11	No se bombeo el bache espaciador por gelificación	55	Se prepararon en 2 ocasiones el bache presentando gelificación y espero aditivos para el 3° bache	Configuraciones de diseño con planes de contingencia.
12	Suspendió instalación de BOP's para bajar contenedores	2	Se recibió 4 contenedores para desarmar el Top Drive	Contar con un programa para reparaciones y mantenimientos de equipos de uso contante en las actividades.
	Total	424.9		

Tabla 49. Lecciones aprendidas por NPT's en cambio de etapa de TR 16".

### 1.3.2. Información Actividades no programadas

N°	Concepto	Horas	Observaciones	Lecciones Aprendidas/Buenas prácticas
<b>Actividades no programadas</b>				
1	Efectuó viaje corto a 1600 m, libre.	18.5	Se realizo viaje para verificar que el agujero estuviera libre para introducir la TR 16".	Tener un ARP listo para verificación de agujero.
2	Se metió 589 m de TP 5" dentro del pozo.	3	Se metió TP al pozo para despejar peines y poder eliminar el top drive.	Revisión
3	Desmantelo Top Drive.	59		Contemplar cambios de tecnología.
4	Espera Top Drive.	262	La compañía certificadora no entrego a tiempo el top drive y se presentaron problemas de trasporte.	Tener presentas ARP para logística de materiales y/o equipos
5	Circular antes de rebajar y probar la TR.	3.5	En el programa solo dice acondicionar lodo y no el desplazamiento.	
	Total	346		

Tabla 50. Lecciones aprendidas actividades no programadas en cambio de etapa de TR 16".

### 1.3.3. Información reducción de tiempos

N°	Concepto	Horas	Observaciones	Lecciones Aprendidas/Buenas prácticas
<b>Reducción de tiempos</b>				
1	N/A	N/A	N/A	N/A
	Total	0		

Tabla 51. Lecciones aprendidas por reducción de tiempos en cambio de etapa de TR 16".

En el caso de estudio, la alta cantidad de NPT's presentes impidió la realización de actividades simultáneas, lo que habría permitido una reducción en los tiempos de ejecución. Esto habría resultado en un aumento en el número de horas efectivas dedicadas al proceso.

### 1.3.4. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto constituye una herramienta visual empleada para ilustrar gráficamente la distribución de un conjunto de datos. Este tipo de representación se fundamenta en el principio de Pareto, el cual sostiene que, en numerosos casos, alrededor del 80% de los resultados derivan del 20% de las causas. A continuación, te ofrezco una descripción general junto con un ejemplo sobre cómo organizar un diagrama de Pareto:

Pasos para elaborar un Diagrama de Pareto:

- 1. Recopilación de datos:** Identifica y recoge los datos pertinentes relacionados con el problema o la situación que estás examinando.
- 2. Clasificación de datos:** Ordena los datos en categorías o grupos específicos para facilitar su análisis.
- 3. Cálculo de frecuencias acumuladas:** Calcula la frecuencia acumulada para cada categoría. Esto implica organizar las categorías de forma descendente según su frecuencia.
- 4. Cálculo del porcentaje acumulado:** Determina el porcentaje acumulado de cada categoría en relación con el total.
- 5. Elaboración del gráfico de barras:** Representa las categorías en un gráfico de barras, disponiéndolas de mayor a menor frecuencia. Cada barra indica el porcentaje acumulado.
- 6. Dibujo de la línea de Pareto:** Traza una línea que refleje la acumulación porcentual de los datos. Generalmente, esta línea comienza en el eje izquierdo (porcentaje acumulado) y se eleva progresivamente. <sup>(57)</sup>

Para el caso de estudio, se realizó el siguiente diagrama de Pareto, enfocándonos en el cabio de etapa de la introducción de tubería de revestimiento de 16”.

Categorías	Frecuencias
Falla manguera de consola del UPH	12.3
Efectuó viaje de reconocimiento	18.5
Falla en la UPH	307
Espera equipo de TR's	21.5
Introdujo lento por constante movimiento del conductor 16"	10.5
Preparación de baches espaciadores se presentó gelificación	55
Desmantelación de top drive	59
Espera top drive, generador y cable	262
Fuera de programa se armó lingadas de TP	10
Recuperó cola colgada a superficie	6

Tabla 52. Datos de NPT's para elaboración de diagrama de Pareto.

<sup>(57)</sup> Adaptado de J. M. Juran, "Pareto, Lorenz, Cournot, Bernoulli, Pareto, Zipf, and Mandelbrot," Quality Progress, vol. 19, no. 10, pp. 57-58, 1986, y . Silver, "BPMn Method and Style," 2009.

Aplicación de la metodología Six Sigma al caso de estudio basándose en el programa de confiabilidad operativa

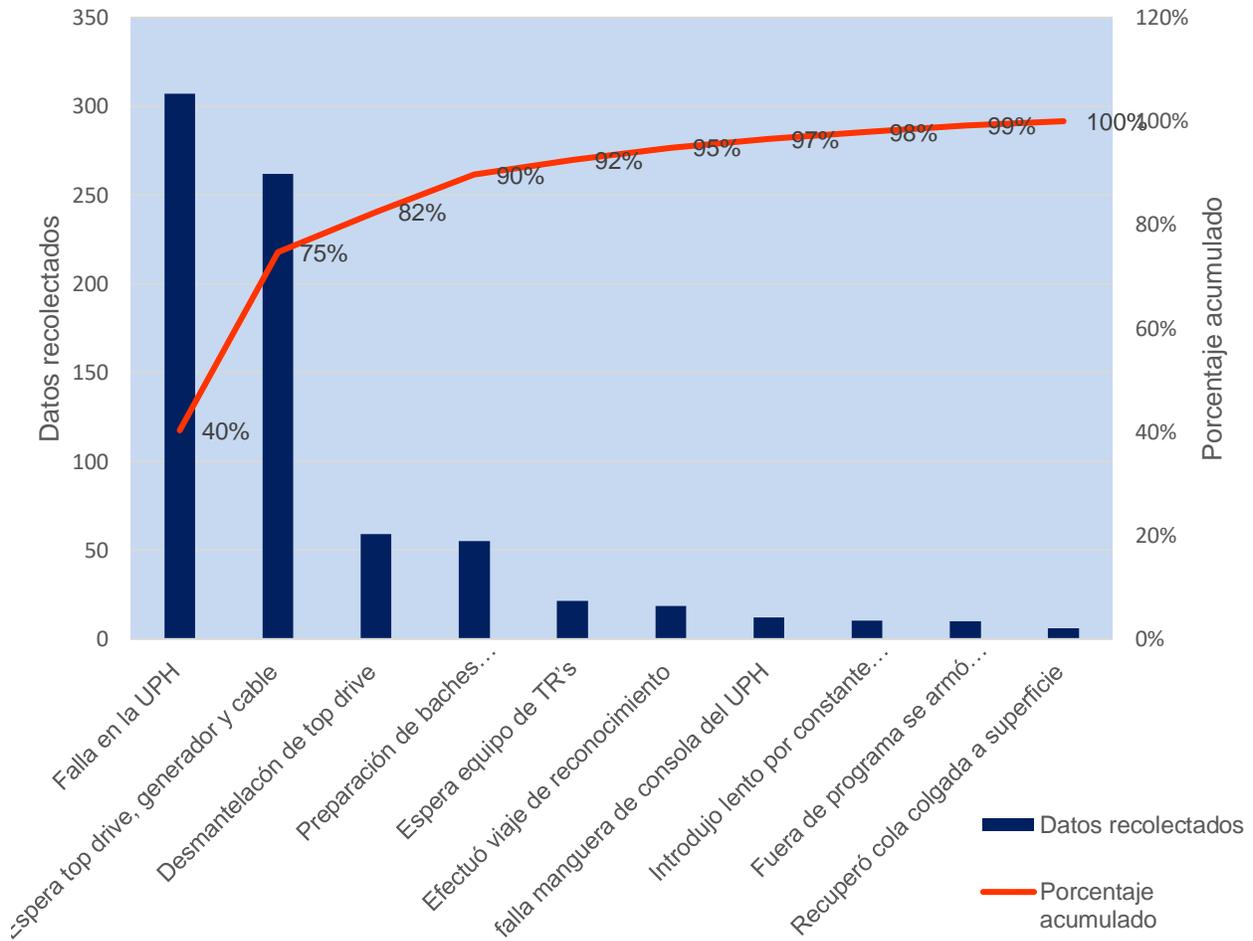


Ilustración 25. Diagrama de Pareto problemática en cambio de etapa TR 16".

Como se muestra en el diagrama, la implementación de planes de contingencia para la unidad de potencia hidráulica conduciría a un aumento en la eficiencia y una reducción en los tiempos no productivos. Además, permitiría la automatización del proceso de resolución de problemas en futuras intervenciones o proyectos de perforación de pozos.

## 1.4. Mejorar

### Soluciones a problemáticas del caso de estudio

#### 1.4.1. Falla consola UPH del freno de emergencia

➤ Evidencia de la desviación



*Ilustración 26. Evidencia No.1 falla en consola UPH del freno de emergencia.*



*Ilustración 27. Evidencia No.2 falla en consola UPH del freno de emergencia.*

➤ Problemática

Activación de frenos de emergencia del malacate principal sin liberación, ocasionada por pérdida de presión en la Unidad de Potencia Hidráulica (UPH) del sistema de frenos del malacate principal

➤ Solución aplicada

Después de varios intentos de reparar la UPH original sin éxito, se movió la UPH del equipo Holka-A a equipo aledaño.

TNP: 337 horas.

#### 1.4.2. Espero aditivos para cementar

➤ Evidencia de la desviación



*Ilustración 28. Evidencia No.1 espera de aditivos para cementar.*



*Ilustración 29. Evidencia No.2 espera de aditivos para cementar.*

➤ Problemática

Durante la preparación del bache espaciador a  $1.53 \text{ g/cm}^3$  se, se observó gelificación, se desechó el producto y se repitió la preparación dando el mismo resultado, se esperó aditivos para la cementación.

➤ Solución aplicada

Recibió 8 sacos de aditivo para generar bache espaciador, se realizó limpieza de la presa de baches, se efectuó limpieza de silo #3 para recibir barita, se generó bache espaciador  $1.53 \text{ g/cm}^3$  para lodo base aceite.

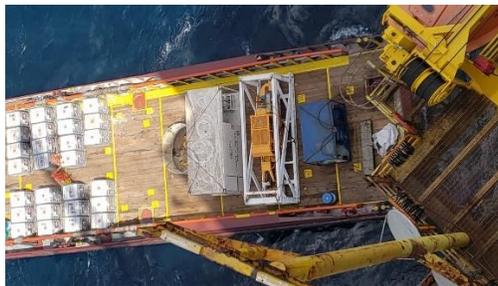
TNP: 56 horas.

### 1.4.3. Espera por cambio de tecnología en Top Drive.

➤ Evidencia de la desviación



*Ilustración 30. Evidencia No.1 espera por cambio de tecnología en Top Drive.*



*Ilustración 31. Evidencia No.2 espera por cambio de tecnología en Top Drive.*

➤ Problemática

Espera de Top Drive de la compañía responsable por retraso en su entrega por mantenimiento y certificación

La compañía responsable no envió el top drive completo, lo estuvo enviando por partes por retraso del mantenimiento y certificación de los componentes:

- Espera Top Drive: 151 h
- Espera caseta de herramientas: 9.5 h
- Espera generador y cabina VDF: 22 h
- Espera cable de alimentación :18 h

➤ Solución aplicada

Esperó suministro de top drive de compañía, se apoyó con prioridad logístico para minimizar la espera de los componentes que iban llegando al muelle.

TNP:256 h.

#### 1.4.4. Problemas en la alineación con el equipo de TRS.

➤ Evidencia de la desviación



*Ilustración 32. Evidencia No.1 alineación con el equipo de TRS.*

➤ Problemática

Durante la introducción de la TR 16" con zapata guía, la operación fue lenta por la desalineación de varios tramos de TR 16" con respecto a la changuera,

Como antecedente se tiene que el conductor 20" está ligeramente desviado después que los buzos centraron el conductor con la estructura, ocasionando realizar diversas maniobras para alinear las herramientas.

➤ Solución aplicada

Se efectuó maniobras con la araña base para acomodar el tramo de 16" en algunas ocasiones girando el tramo con la llave.

TNP: 10.5 horas.



1.4.6. Falla en computadoras de equipo de TRS.

➤ Evidencia de la desviación

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES DEL: 10/08/2002				PEP: ACTIVO PRODUCCION CANTARELL			
PEMEX PETROLIO Y MINERIAS S.A. DE C.V. Equipo: 4038 Cla.: PETROLES MEXICANOS				UPMP: U. O. CANTARELL Esquema admón.: ADMINISTRACION			
Pozo: BALAM 32		Intervención: PERFORACION		Fecha de inicio: 14/07/2002		Prof. des. prog./real (m): 5359/1000	
Tipo/subtipo pozo: --EXPLORACION		Próx. movimiento: BALAM 89		No. conductor:		Duración prog./real (d): 00/03	
Objetivo: INCORPORAR PRODUCCION COMERCIAL DE ACEITE LIGERO DEL YACIMIENTO ARENAS DEL JURASICO SUPERIOR OXFORDIANO DEL CAMPO BALAM MEDIANTE LA PERFORACION Y TERMINACION DE UN POZO DE TIPO HORIZONTAL CON UNA PRODUCCION INICIAL DE 3,000 BPD.							
Profundidad	Desarrollada	Vertical	Sarta			Longitud total (m)	
00:00:00	1000	1585	Componentes			D.E. D.I. Cant. Long.	
24:00:00	1000	1585				Condiciones de operación	
05:00:00	1000	1585				PES y PSM (ton)	
Etapas (R/P)			Avance del día			Rotación (RPM)	
S7			Promedio diario			140/140	
Geología			Formación			Torque (Ansa)	
Litología			Prof. des. Avert.			1800/200	
Uit. contacto			MS			646	
Próx. contacto			MA			Pres. bomb(s)/cm <sup>2</sup>	
Litológica			LUTITA GRIS CLARO A VERDE			31	
Núcleo			ID. (BARRIL PLASTICA Y CALGAMA)			Peso sarta (ton)	
			INTERCALADO CON DELGADAS CAPAS DE			1.20	
			AMERICAS DE GRANO FINO A MEDIO			Módulo de jctón (ton)	
			CEMENTADAS CON MATERIAL ARELLO			212	
			CALGAMA. SE OBSERVAN NIVELES DE NESTRO			Elemento del equipo	
						Est. freno corona	
						Ok	
						Prueba de la formación	
						Prof. des. (m)	
						Pres. golpe (psi)	
						Grad. forma. (kg/cm <sup>2</sup> m)	
						Grad. trac. (kg/cm <sup>2</sup> m)	
						Dens. pmezta (g/cc)	
Barrena		Actual		Anterior		Record	
Clase		Actual		Anterior		Record	
Tipo		Actual		Anterior		Record	
IADC		Actual		Anterior		Record	
Orden		Actual		Anterior		Record	
D.E.		Actual		Anterior		Record	
Prof./Form.		Actual		Anterior		Record	
Marca		Actual		Anterior		Record	
Diámetro		Actual		Anterior		Record	
Toberas		Actual		Anterior		Record	
Proveedor		Actual		Anterior		Record	
No. Serie		Actual		Anterior		Record	
Direccional		Actual		Anterior		Record	
KOP programado		Actual		Anterior		Record	
Prof. des. inclinación (°)		Actual		Anterior		Record	
Azimut (°)		Actual		Anterior		Record	
Rumbo		Actual		Anterior		Record	
Prof. vert.		Actual		Anterior		Record	
Desp. total		Actual		Anterior		Record	
Programada		Actual		Anterior		Record	
Real		Actual		Anterior		Record	
Tipo desviación		Actual		Anterior		Record	
Tapón		Actual		Anterior		Record	
Descripción:		Actual		Anterior		Record	
Ultimos registros		Actual		Anterior		Record	
Fecha		Actual		Anterior		Record	
Tipo		Actual		Anterior		Record	
Cima/Base		Actual		Anterior		Record	
Boca (m)		Actual		Anterior		Record	
Long. (m)		Actual		Anterior		Record	
Descripción:		Actual		Anterior		Record	
Prueba de CSC		Actual		Anterior		Record	
Fecha		Actual		Anterior		Record	
Componente		Actual		Anterior		Record	
Pres. trabajo (psi)		Actual		Anterior		Record	
No.		Actual		Anterior		Record	
Marca, Modelo, Número de serie		Actual		Anterior		Record	
Camisa (pulg)		Actual		Anterior		Record	
Resumen del día anterior		Actual		Anterior		Record	
Reporte de la operación		Actual		Anterior		Record	
Día		Actual		Anterior		Record	
Mov.		Actual		Anterior		Record	
Norm.		Actual		Anterior		Record	
Prob.		Actual		Anterior		Record	
Fallas		Actual		Anterior		Record	
Esp.		Actual		Anterior		Record	
Susp.		Actual		Anterior		Record	
Técnicos de esperas y suspensión (días)		Actual		Anterior		Record	
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS		Actual		Anterior		Record	
PERSONAL		Actual		Anterior		Record	
EQUIPO AUXILIAR		Actual		Anterior		Record	
Materiales		Actual		Anterior		Record	
Tipo		Actual		Anterior		Record	
Cons.		Actual		Anterior		Record	
Disp.		Actual		Anterior		Record	
U.M.		Actual		Anterior		Record	
Resumen		Actual		Anterior		Record	
Siguiente operación		Actual		Anterior		Record	
Programa		Actual		Anterior		Record	
Observaciones		Actual		Anterior		Record	
Superintendente		Actual		Anterior		Record	
Ing. Servicio a pozo		Actual		Anterior		Record	
Necesidades		Actual		Anterior		Record	

Ilustración 34. Evidencia No.1 falla en computadoras de equipo de TRS.

➤ Problemática

Al inicio de la introducción de la TR 16" se observó falla de hardware en las computadoras del equipo de introducción TRS.

➤ Solución aplicada

Se recibieron las computadoras en plataforma vecina con la zapata guía a 227 m, personal de compañía efectuó cambio de computadoras.

TNP: 3.0 horas.

#### 1.4.7. Plan de acción

Tras recopilar y priorizar los datos, identificamos los informes con mayor potencial para la automatización y comenzamos a trabajar en ellos utilizando la metodología Agile/Scrum. El objetivo era lograr una rápida automatización de la información.

¿Por qué? ¿Para qué?		¿Qué?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cómo?
#	Oportunidad	Acción	Responsable	Avance (%)	Observaciones
1	Distribución	Movimiento lateral de equipos para intervenciones a pozos.	Gerencia de intervenciones	80%	
2	Diseño	Plan de contingencia para reparación y mantenimiento de equipos utilizados.	Diseño de pozos	60%	Confirmar programas de contingencia
3	Mantenimiento	Inspección cíclica a equipos de intervenciones más utilizados en intervenciones a pozos.	Gerencia de intervenciones	80%	
4	Mantenimiento	Transporte coordinado minimizando tiempos de espera por componentes.	CIA	50%	Verificar disponibilidad de CIA para proporcionar componentes.
5	Refaccionamiento	Equipos Back- Up de equipos más utilizados, así como técnicos especialistas para reparaciones.	Gerencia de intervenciones	50%	Verificación de espacio para tripulación a bordo.
6	Automatización	Reporte de actividades y/o mantenimiento de equipos,	Personal abordó	70%	

Tabla 53. Plan de acción para caso de estudio (metodología Agile/Scrum).

Al generar la automatización de reportes, de la misma manera se está reduciendo el tiempo de trabajo de los colaboradores en actividades manuales y se están trabajando planes de acción para capacitar a los colaboradores en nuevas herramientas estratégicas, así mismo, se puede trabajar en planes de emergencia para situaciones de refaccionamiento crítico al momento de presentarse una falla en los equipos.

## 1.5. Controlar

En la etapa de control, se realizarán comparaciones entre el estado anterior y el actual para evaluar las mejoras del nuevo proceso. Es esencial utilizar las métricas definidas en la fase inicial para diseñar y ejecutar un plan que asegure la sostenibilidad de las mejoras. En este sentido, resulta imperativo documentar y estandarizar el nuevo proceso. Dependiendo de la naturaleza de las mejoras implementadas, se establecerá un sistema de control para garantizar su continuidad. Esto puede implicar la documentación de cambios a través de instrucciones de trabajo, procedimientos escritos u otros medios, así como la realización de auditorías o la implementación de dispositivos a prueba de fallos. La elección final dependerá del tipo de proceso, la naturaleza de la mejora y el alcance del proyecto. Dado que Six Sigma se centra en la mejora continua, es habitual que en esta fase surjan sugerencias para proyectos futuros. Además, se puede recomendar la replicación del proceso en otras áreas de la organización para maximizar los efectos positivos de la mejora. <sup>(58)</sup>

### 1.5.1. Ahorros generados

Los ahorros generados están descritos en tiempo; sin embargo, en el ahorro del tiempo de los recursos se identificaron problemáticas recurrentes en equipos y/o intervenciones que pueden ser previstas y o programables, así como el tener planes de contingencia, plan de mantenimiento de equipo incluido en los programas operativos, sin tener que afectar la eficiencia programada de las actividades.

Esto generó ahorro de tiempo tanto en coordinación, como en uso de equipos, los ARP generados, y planes de refaccionamiento crítico en caso de que se presenten fallas en los equipos.

El monto de ahorro en labor cost se va a ver reflejado en la renta de los equipos de izaje, habitacional, servicios (alimentación y amenidades), equipo de perforación y medición, y uso de plataforma, enfocado en el cambio de etapa durante la introducción de tubería de revestimiento de 16”.

---

<sup>(58)</sup> Adaptado de A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023.

### 1.5.2. Optimizaciones operativas.

Como se destacó en la aplicación de la metodología Six Sigma, el principal objetivo es identificar áreas de oportunidad mediante un análisis exhaustivo para abordar posibles cuellos de botella en los procesos y generar optimizaciones en diversas áreas, específicamente en el contexto de la perforación de pozos.

<b>Etapa 16"</b>	<b>Pozo Holka-32</b>	<b>Equipo Holka-A</b>
<b>Planeación</b>	<b>Actividades simultaneas</b>	<b>Optimización de procesos</b>
Revisión y mantenimiento a equipos críticos antes de iniciar la etapa. Administrar espacios en plataforma, bajar materiales, recibir materiales con anticipación, llaves de apriete.	Con personal de la compañía de cementación, realizar las pruebas de la unidad de alta, preparación de baches de limpieza y separador, paralelo a otras actividades.	En el acopio de materiales se armó TP y estibo en peines para las primeras 3 etapas.
Elaborar programa de introducción, con sus tiempos programados, cementación, BOPS, armado de sarta para rebajar accesorios o sarta para perforar directamente, cambio de fluidos de perforación, etc.	Preparar herramientas a utilizar durante la introducción de la TR, previo a su utilización. Recibir materiales y equipos para el inicio de la próxima etapa de perforación.	Tener una comunicación con los gueros y planear para determinar el orden de las actividades. Rebajar cemento y accesorios con la sarta a perforar.
Malas condiciones climatológicas, anticiparse con personal, equipo y materiales, elaborar lista.	Reacomodo de materiales y equipos previo al inicio de la próxima etapa de perforación.	Monitoreo diario de las condiciones climatológicas para visualiza posibles esperas y así planear de recepción anticipada de materiales. Bajar remantes y herramientas de la etapa concluida para liberar espacios.
Efectuar el acopio de preventores previo al movimiento de la plataforma para eliminar el deslizamiento de la misma durante los cambios de etapa para introducción de los preventores.	Prepara la bajada de los preventores que se encuentren abordo para efectuar el cambio por los que se estarán utilizando en el nuevo pozo.	Tener una comunicación con los gueros y planear para determinar el orden de las actividades.

Tabla 54. Optimización en procesos cambio de etapa TR 16".

## CAPÍTULO 5

### Análisis de resultados y conclusiones

#### 1.1. Análisis de resultados

En este apartado se realizará una recopilación de la información obtenida, lecciones aprendidas y oportunidades de optimización de procesos en el cambio de etapa en la introducción de tubería de revestimiento de 16”.

En el mapeo de actividades pusimos observar que los NPT`s con una duración prolongada se presentan en el área de equipo asociado a el programa de confiabilidad operativa, por lo que es importante el seguimiento de fallas de equipos, así como el cargo a las compañías prestadoras de servicios y/o renta de equipos de perforación, potencia, bombeo, etc.

Es importante realizar la documentación de los aprendizajes y reflexiones obtenidas durante el proyecto:

- **Enseñanza 1:** Este Proyecto se realizó en una filial donde los problemas identificados no requerían un análisis mayor de datos; sin embargo, las herramientas aprendidas en el curso nos ayudaron a encontrar los problemas raíz, resolver la automatización de procesos.
- **Enseñanza 2:** Mirar desde el punto estratégico y de beneficio para el proyecto ayuda a que los problemas se puedan resolver más fácilmente.
- **Enseñanza 3:** Es muy importante tener comunicación constante con la dirección para avanzar más rápido y que los equipos de trabajo colaboren de una manera más activa.

Las lecciones aprendidas y recomendaciones en la aplicación de la metodología basándonos en el sistema de confiabilidad operativa son las siguientes:

#### Diseño

- Planeación de cambio de equipos con mantenimientos programados.
- Corroborar los programas de fluidos esperados, así como la ventana operativa para evitar cambio y recirculación de fluidos utilizados para acondicionamiento de pozo.
- Tener en cuenta los ARP necesarios antes de realizar la planeación de actividades.

## Humana

- Confirmar que el personal se encuentra capacitado y con las certificaciones necesarias para realizar los trabajos de manera segura.
- Mantener al personal motivado para realizar las actividades, salvaguardando su integridad y su estabilidad mental y emocional, ya que, al estar tiempo aislado en los equipos de perforación offshore, es importante el dar opciones de comunicación para dar estabilidad y tranquilidad con sus familiares.
- Proporcionar el equipo de protección personal necesario para realizar las actividades.

## Equipo

- Realizar mantenimientos preventivos a los equipos e inspecciones previas a la instalación en los equipos offshore y revisiones cíclicas mientras el equipo no esté en uso.
- Tener ARP actualizados para el uso de los equipos, así como realizar reuniones con CIA responsable del equipo para tener en cuenta los comentarios y consideraciones específicas de las herramientas a utilizar.
- Contar con equipos Back-up de equipos de desgaste constante y refaccionamiento de equipos con grandes dimensiones para mantener equipos de respaldo en el complejo.

## Proceso

- Realizar juntas previas a las actividades, haciendo conocer los ARP a la cuadrilla que vaya a estar involucrada en la realización de las actividades.
- Contar con instrucciones concisas y explicadas de las actividades a realizar, asignar tareas y considerar a un responsable de cuadrilla para resolución de problemas.
- Revisión de los equipos a utilizar en las actividades, revisión de certificaciones y que el personal cumpla con el EPP correspondiente para las actividades, en caso de realizar actividades manuales o donde pueda estar presente el error humano.
- Realizar tareas de alto riesgo en un horario en donde no se vea involucrado el factor sueño en el personal a realizar las tareas, tener una cuadrilla con descanso constante para evitar errores y/o accidentes que puedan generar tiempos no productivos o paro de actividades.

## 1.2. Conclusiones

La implementación de Six Sigma en la industria petrolera ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la calidad en diversos procesos. A continuación, se presentan algunas consideraciones clave sobre el trabajo de Six Sigma en la industria petrolera:

**Reducción de Variabilidad:** Six Sigma se centra en reducir la variabilidad en los procesos, lo cual es crítico en la industria petrolera donde la consistencia en la producción y la calidad son fundamentales. Al aplicar herramientas estadísticas, se pueden identificar y eliminar fuentes de variabilidad, mejorando así la confiabilidad de los procesos.

**Mejora de Eficiencia Operativa:** La optimización de procesos a través de Six Sigma conduce a una mayor eficiencia operativa. Esto es especialmente valioso ya que las operaciones son complejas y costosas. La reducción de defectos y la mejora de la eficiencia se traducen directamente en ahorros significativos.

**Enfoque en el Cliente:** Six Sigma pone un fuerte énfasis en comprender y satisfacer las necesidades del cliente. Esto se traduce en la entrega de productos y servicios que cumplen con estándares de calidad rigurosos y requisitos específicos, lo que mejora la satisfacción del cliente y fortalece las relaciones comerciales.

**Reducción de Residuos y Costos:** La metodología Six Sigma ayuda a identificar y eliminar actividades innecesarias o ineficientes, lo que conduce a una reducción significativa de residuos y costos. En la industria petrolera, donde la gestión de costos es crítica, esto puede tener un impacto sustancial en la rentabilidad.

**Cultura de Mejora Continua:** Six Sigma fomenta una cultura de mejora continua, donde la identificación y resolución de problemas se convierten en parte integral de la rutina diaria. Esto contribuye a la adaptabilidad de la empresa ante cambios en el entorno y promueve la innovación.

**Gestión Basada en Datos:** Six Sigma se basa en datos y hechos, lo que impulsa una toma de decisiones más informada. Las decisiones estratégicas pueden tener impactos significativos, contar con información precisa y confiable es esencial.

En síntesis, la implementación de Six Sigma en la industria petrolera emerge como una estrategia multifacética y profundamente efectiva para mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados y elevar los estándares de calidad en una variedad de procesos críticos. Esta metodología, consolidada como un sistema de gestión de calidad reconocido a nivel mundial, no solo ha demostrado su valía en entornos industriales diversos, sino que también se erige como un motor crucial para la optimización de las operaciones en el sector petrolero.

Al examinar el despliegue de Six Sigma en este ámbito específico, se revela su capacidad para abordar desafíos fundamentales, desde la producción hasta la distribución, y desde la exploración hasta la comercialización. Su enfoque en la reducción de la variabilidad, la mejora

continua y la orientación al cliente se ajusta perfectamente a las demandas rigurosas y altamente técnicas de la industria petrolera.

En el contexto de la perforación de pozos, la implementación de una metodología de mejora continua basada en Six Sigma se presenta como una iniciativa estratégica clave para las empresas del sector. Su objetivo primordial es optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados y elevar la calidad del trabajo realizado en cada etapa del proceso de perforación. Esto implica no solo la adopción de herramientas y técnicas específicas de Six Sigma, sino también un compromiso integral con la capacitación del personal y la integración de prácticas de mejora continua en la cultura organizacional.

Además, se plantea un objetivo secundario igualmente importante: evaluar el impacto de esta metodología en la productividad y rentabilidad de las operaciones de perforación de pozos. Este análisis exhaustivo implica el seguimiento meticuloso de una serie de indicadores clave de desempeño, que van desde el tiempo de perforación y la calidad del trabajo hasta la seguridad en el lugar de trabajo. La comparación de estos datos con registros históricos proporciona una perspectiva invaluable sobre la efectividad y el retorno de inversión de la implementación de la metodología de mejora continua en la perforación de pozos.

En última instancia, al integrar Six Sigma en sus operaciones, las compañías petroleras no solo están respondiendo a las demandas de un mercado global altamente competitivo, sino que también están asumiendo un compromiso genuino con la excelencia operativa y la innovación continua. Este enfoque sistemático no solo fortalece la posición de las empresas en el sector, sino que también las equipa con las herramientas y los conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos futuros con confianza y éxito duradero.

En resumen, la implementación de Six Sigma en la industria petrolera no solo concuerda con los objetivos establecidos para la mejora continua en la perforación de pozos, sino que también ofrece un marco metodológico sólido para alcanzar y evaluar estos objetivos de manera efectiva y eficiente.

## Anexos

No.	Descripción	Área
1	Guía operativa para el proceso de diseño de intervenciones a pozos aplicando la metodología VCDSE	Diseño de pozos
2	Procedimiento operativo de diseño para lavado de pozos	Lavado de pozos
3	Procedimiento de diseño para controlar pozos al iniciar las intervenciones	Control de pozos
4	Procedimiento operativo para el diseño de las conexiones superficiales de control	Conexiones superficiales
5	Procedimiento operativo de diseño para molienda y recuperación de empacadores de producción	Pesca y molienda
6	Procedimiento operativo para la selección de fluidos de perforación	Fluidos
7	Procedimiento operativo para el diseño y selección de equipos de control de sólidos	Fluidos
8	Procedimiento para conectar y desconectar herramienta	Sarta de perforación
9	Procedimiento para la instalación y prueba de cabezales con cuñas invertidas o sujetadoras	Conexiones superficiales
10	Procedimiento para instalar y probar buje de sellos para TR de árbol de válvulas compacto	Conexiones superficiales
11	Procedimiento para la instalación y prueba de conjunto de preventores con o sin pozos adyacentes	Conexiones superficiales
12	Procedimiento para cambio de fluido de control	Fluidos
13	Procedimiento para la recepción y envío de fluidos de perforación	Fluidos
14	Procedimiento para moler accesorios y cemento	Pesca y molienda

No.	Descripción	Área
15	Procedimiento operativo para instalar desviador de flujo (DIVERTER)	Conexiones superficiales
16	Procedimiento operativo para instalar campana y línea de flote	Conexiones superficiales
17	Procedimiento operativo para la perforación direccional	Direccional
18	Procedimiento para sacar Lastrabarrena y estibar en peine	Sarta de perforación
19	Procedimiento para la instalación y prueba de cabezales soldables sección "A" con sistema de precalentamiento	Conexiones superficiales
20	Procedimiento para despegar tuberías por empacamiento	Pesca y molienda
21	Procedimiento para despegar tuberías por presión diferencial.	Pesca y molienda
22	Procedimiento para desmantelar Top Drive	Conexiones superficiales
23	Procedimiento para cambio de cabezal de tubería de revestimiento	Conexiones superficiales
24	Procedimiento operativo para efectuar conexión y desconexión con top drive	Conexiones superficiales
25	Procedimiento para operar herramientas conformadoras para tuberías de ademe y operación	Pesca y molienda
26	Procedimiento para efectuar cambio de tubo lavador (uniflex)	Conexiones superficiales
27	Procedimiento para conectar y desconectar tuberías de revestimiento (T.R.)	Tuberías de revestimiento y Liner's
28	Procedimiento para realizar un side Track en agujero descubierto con T X C	Direccional

No.	Descripción	Área
29	Procedimiento para colocar bache pesado que iguale las condiciones de operación	Control de pozos
30	Procedimiento para controlar pérdidas de circulación	Control de pozos
31	Procedimiento para realizar salida lateral (Side Track) en agujero entubado con sistema de trimolino Track máster	Direccional
32	Procedimiento para la introducción de tuberías de revestimiento	Tuberías de revestimiento y Liner's
33	Procedimiento para colocar tapón de cemento con tubo aguja y TP	Cementación
34	Instructivo operativo para la colocación de anillo de cemento	Cementación
35	Procedimiento para efectuar disparos con unidad de línea de acero	Toma de información
36	Instructivo operativo para realizar cementación forzada con retenedor permanente o probador de TR recuperable	Cementación
37	Procedimiento para cementación de tuberías de revestimiento corridas con accesorios flotadores	Cementación
38	Guía operativa para elaborar y actualizar documentos operativos en Pemex Exploración y Producción	Cementación
39	Instructivo operativo para trabajos con equipo de control de presión con cable electromecánico	Toma de información
40	Instructivo operativo para realizar registros geofísicos con cable electromecánico	Toma de información
41	Instructivo operativo para realizar una prueba de alijo	Tuberías de revestimiento y Liner's

No.	Descripción	Área
42	Instructivo operativo para cementación de stub de tubería de revestimiento	Cementación
43	Instructivo operativo para cementación de tubería de revestimiento corta (Liner)	Cementación
44	Instructivo operativo para la estimulación de limpia en pozos petroleros	Estimulación
45	Procedimiento operativo para control de brotes	Control de pozos
46	Guía operativa para diseño y selección de tubulares para intervenciones a pozos en PEP	Tuberías de revestimiento y Liner's
47	Instructivo operativo para introducción de tubería de revestimiento en pozos con casquetes de gas y pérdida total de circulación	Tuberías de revestimiento y Liner's
48	Procedimiento operativo para efectuar trabajos de limpieza con pescante magnético	Pesca y molienda
49	Guía operativa única para el diseño de la terminación de pozos de desarrollo y exploratorios en PEP	Estimulación
50	Instructivo operativo para efectuar ajustes de aparejo de producción con unidades sellos MULTI- V	Empacador y Retenedor
51	Guía operativa única para el manejo de la integridad durante el diseño, construcción, abandono, vida productiva y abandono de pozos en PEP	Integridad de pozos
52	Instructivo operativo para cementación de tubería de revestimiento corrida	Cementación
53	Guía operativa para diseño y seguimiento a la ejecución de la cementación de pozos en PEP	Cementación
54	Procedimiento operativo de evaluación de cementaciones	Cementación

No.	Descripción	Área
55	Procedimiento operativo para la supervisión de la cementación de tuberías de revestimiento durante la construcción de pozos exploratorios en aguas profundas y ultra profundas.	Cementación
56	Guía operativa para el diseño y supervisión de la ejecución de intervenciones a pozos por el ingeniero de pozo	Diseño
57	Guía operativa para diseño y selección de tubulares para intervenciones a pozos en PEP	Diseño
58	Procedimiento operativo para el diseño de las conexiones superficiales de control	Diseño
59	Guía operativa para diseñar la trayectoria de un pozo direccional	Diseño
60	Procedimiento operativo para diseño de pozos de alivio	Diseño
61	Procedimiento operativo para supervisar la prueba de alijo	Tuberías de revestimiento y Liner's
62	Instructivo operativo para la eliminación de conexiones superficiales de control obsoletas (pozos con válvulas tipo Darling o Chapman) y taponamiento definitivo.	Cementación
63	Instructivo operativo para la colocación de tapón de cemento descolgado o balanceado por presión de fondo	Cementación
64	Procedimiento operativo para la selección de fluidos de perforación	Fluidos

*Tabla 55. Tabla guías y procedimientos operativos.*

## Referencias

- [1] Guía operativa para realizar análisis de riesgos de procesos en los proyectos e instalaciones de Pemex exploración y producción (1.ª ed.). (2020). Pemex exploración y producción.
- [2] Gerencia de Ingeniería de Intervenciones a Pozos de Explotación, "Documento soporte de decisión fase de definición DSD-D PC3 pozos categoría 2 y 3 (1.a ed.)", 2022.
- [3] Pemex Exploración y Producción, "Política y procedimientos de confiabilidad operacional y mantenimiento de Petróleos Mexicanos, sus empresas productivas subsidiarias y en su caso, empresas filiales (1.a ed.)", 2020.
- [4] Universidad Continental, "Implementación de un plan de mejora con el uso de KPI's en los procesos de gestión comercial para la fuerza de ventas de las distribuidoras ferreteras de Arequipa para el 2019 (1.a ed.)", Francisco Nájjar Navarro, 2019.
- [5] Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, "Optimización de los tiempos de perforación de pozos por medio del análisis de tiempos invisibles (1.a ed.)", Ramiro Fux Campa, 2019.
- [6] L. Bossidy, "Six Sigma: origen, evolución y aplicación en la mejora continua de la calidad," Journal of Quality Management, vol. 19, 2005.
- [7] E. J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas (1.a ed.)", 2008.
- [8] G. M. Tello Bravo, "Diseño e implementación de tiempos estándares para la mejora de la productividad en Jomsatel s.a.c. (1.a ed.)", 2020.
- [9] E. V. de Lucio Rodríguez, "Metodología para la planeación del análisis de riesgos en plantas de procesos (1.a ed.)", Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2009.
- [10] J. M. Luzardo Soledispa, "Sistema de control de procesos empresariales por medio de indicadores de gestión aplicado al departamento de servicio al cliente en el proceso de facturación y atención de reclamos de la empresa 'PLÁSTICOS S.A.' ubicada en la ciudad de Guayaquil (1.a ed.)", 2009.
- [11] A.V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz, y A. Brau-Ávila, "Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno," Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 24, no. 01, pp. 1-12, 2023. DOI: 10.22201/ii.25940732e.2023.24.1.007.
- [12] B. Silver, "BPMn Method and Style," 2009. [Online]. Available: <http://cds.cern.ch/record/1278710>.

- [13] J. M. Juran, "Pareto, Lorenz, Cournot, Bernoulli, Pareto, Zipf, and Mandelbrot," *Quality Progress*, vol. 19, no. 10, pp. 57–58, 1986.
- [14] D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A practical guide for enhancing work and information flow," 2005. [Online]. Available: <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:001243272>.
- [15] J. M. Jacka y P. J. Keller, "Business Process Mapping: Improving Customer Satisfaction," 2002. [Online]. Available: [https://openlibrary.org/books/OL29037028M/Business\\_Process\\_Mapping](https://openlibrary.org/books/OL29037028M/Business_Process_Mapping).
- [16] R. R. Young, "Asset Lifecycle Management: Integrating People, Process, Technology, and Information," Wiley, [ISBN: 9781118004474].
- [17] G. Brusco, P. Lewis, y M. Williams, "Perforación de pozos verticales," *Oilfield Review*, vol. 16, no. 1, p. 4, 2004.
- [18] PEMEX, "Guía Práctica para el Diseño de la Perforación Direccional y Control de la Desviación," *Perforación y Mantenimiento de Pozos*.
- [19] Alarcón Zamora Aldo Alan, "Manual técnico de perforación en aguas someras", Facultad de ingeniería, U.N.A.M, 2021.
- [20] J. Smith y A. Johnson, "Avances en la tecnología de fluidos de perforación y emulsión inversa," *Rev. Ing. Petrol.*, vol. 10, no. 2, pp. 45-58, 2020. DOI: 10.1234/ingenieriapetrolera.
- [21] PEMEX Exploración y Producción, "Cementación de pozos petroleros: criterios y fundamentos."