

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE OPERACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
MANTENIMIENTO DE HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN EN UNA EMPRESA DE
SERVICIOS PETROLEROS**

NATHALIA TABARES RODRÍGUEZ

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

Director

Julio Mario Daza Escorcía

Ingeniero Industrial

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director
Ing.

Jurado
Ing.

Jurado
Ing.

Bogotá D.C., febrero de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDO

Secretario General

Dr. JOSE LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decana Facultad de Ingeniería

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director Programa de Ingeniería Industrial

Ing. JULIO ANÍBAL MORENO GALINDO

**A mis padres y hermano por el apoyo incondicional,
A mi abuela y mi tía, que son mis ángeles y me guían en cada paso.**

**A la compañía que me permitió el desarrollo de este proyecto,
Especialmente a Maria Catalina Correal por ser mi mentora
En esta etapa.**

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

TABLA DE CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| RESUMEN | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| 1.1. Antecedentes | 19 |
| 1.2. Pregunta de investigación | 20 |
| 1.3. Justificación | 20 |
| 1.4. Hipótesis | 21 |
| 1.5. Objetivo General | 21 |
| 1.6. Objetivos Específicos | 21 |
| 2. METODOLOGÍA | 23 |
| 2.1. Tipo y método de investigación | 23 |
| 2.2. Fuentes y técnicas de obtención de información de investigación | 23 |
| 2.3. Fases | 24 |
| 2.3.1. <i>Fase exploratoria</i> | 24 |
| 2.3.2. <i>Fase descriptiva</i> | 24 |
| 2.3.3. <i>Fase de diseño</i> | 25 |
| 2.3.4. <i>Fase de análisis</i> | 25 |
| 3. MARCO REFERENCIAL | 26 |
| 3.1. Marco Conceptual | 26 |
| 3.1.1. <i>Mantenimiento</i> | 26 |
| 3.1.2. <i>Optimización</i> | 27 |
| 3.1.3. <i>LEAN Manufacturing</i> | 28 |
| 3.1.4. <i>Distribución de planta</i> | 29 |
| 3.1.5. <i>Indicadores</i> | 30 |
| 3.1.6. <i>Eficiencia</i> | 31 |
| 3.1.7. <i>Eficacia</i> | 32 |
| 3.1.8. <i>Productividad</i> | 33 |
| 3.2. Marco teórico | 34 |
| 3.2.1. <i>Estandarización de procesos</i> | 34 |
| 3.2.2. <i>LEAN Manufacturing</i> | 42 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.2.3. | <i>Distribución en planta</i> | 45 |
| 3.2.4. | <i>Indicadores de Gestión</i> | 49 |
| 3.3. | Marco histórico | 52 |
| 3.3.1. | <i>Estandarización de procesos</i> | 52 |
| 3.3.2. | <i>LEAN Manufacturing</i> | 53 |
| 3.3.3. | <i>Distribución de planta</i> | 53 |
| 3.3.4. | <i>Indicadores de gestión</i> | 54 |
| 3.4. | Marco normativo | 54 |
| 3.4.1. | <i>Manejo de químicos y sustancias peligrosas</i> | 55 |
| 3.4.2. | <i>Estándares de la compañía</i> | 55 |
| 3.5. | Marco institucional | 56 |
| 3.5.1. | <i>Misión</i> | 57 |
| 3.5.2. | <i>Visión</i> | 57 |
| 3.5.3. | <i>Propuesta de valor</i> | 57 |
| 3.5.4. | <i>Pilares estratégicos</i> | 57 |
| 3.5.5. | <i>Perforación</i> | 57 |
| 3.5.6. | <i>Portafolio de servicios</i> | 58 |
| 4. | RESULTADOS | 60 |
| 4.1. | Diagnóstico de los procesos de mantenimiento | 60 |
| 4.1.1. | <i>Caracterización de los procesos</i> | 61 |
| 4.1.2. | <i>Identificación de oportunidades de mejora</i> | 94 |
| 4.2. | Desarrollo de propuestas de mejora tomando como base herramientas Lean Manufacturing | 101 |
| 5. | CONCLUSIONES | 133 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 134 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Árbol del problema | 18 |
| Figura 2. Pilares Lean Manufacturing | 43 |
| Figura 3. Metodología SLP | 46 |
| Figura 4. Convenciones para el diagrama de relación de operaciones | 47 |
| Figura 5. Tabla relacional | 48 |
| Figura 6. Mapa de factores claves de éxito | 51 |
| Figura 7. Clasificación de las herramientas | 61 |
| Figura 8. Diagrama de bloques mantenimiento herramienta de telemetría | 62 |
| Figura 9. VSM Mantenimiento herramienta telemetría | 66 |
| Figura 10. Diagrama de bloques mantenimiento probeta de telemetría | 67 |
| Figura 11. VSM Mantenimiento probeta de Telemetría | 70 |
| Figura 12. Diagrama de bloques mantenimiento probeta de Gamma | 70 |
| Figura 13. VSM Mantenimiento probeta de Gamma | 73 |
| Figura 14. Diagrama de bloques mantenimiento probeta direccional | 74 |
| Figura 15. VSM mantenimiento probeta direccional | 76 |
| Figura 16. Diagrama de bloques mantenimiento inserto procesador | 77 |
| Figura 17. VSM mantenimiento inserto procesador | 81 |
| Figura 18. Diagrama de bloques mantenimiento inserto de presión | 81 |
| Figura 19. VSM Mantenimiento inserto de presión | 84 |
| Figura 20. Diagrama de bloques mantenimiento inserto gamma | 85 |
| Figura 21. VSM Mantenimiento inserto de gamma | 87 |
| Figura 22. Diagrama de bloques mantenimiento herramienta de resistividad 1 | 88 |
| Figura 23. VSM Mantenimiento herramienta de resistividad 1 | 91 |
| Figura 24. Diagrama de bloques mantenimiento herramienta resistividad 2 | 92 |
| Figura 25. VSM Mantenimiento herramienta de resistividad 2 | 94 |
| Figura 26. Diagrama de Ishikawa para la herramienta de telemetría | 96 |
| Figura 27. Diagrama de Ishikawa para el mantenimiento de probetas | 97 |
| Figura 28. Diagrama de Ishikawa para el mantenimiento de insertos | 98 |
| Figura 29. Diagrama de Ishikawa mantenimiento de resistividades | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figura 30. Etapas 5S | 103 |
| Figura 31. Desarrollo etapa Seiri | 104 |
| Figura 32. Preguntas clave implementación Seiton | 105 |
| Figura 33. Distribución de planta actual | 116 |
| Figura 34. Diagrama de relaciones entre actividades para el mantenimiento de las herramientas | 118 |
| Figura 35. Diagrama de relación de procesos actual | 119 |
| Figura 36. Primera propuesta de distribución de planta | 120 |
| Figura 37. Segunda propuesta de distribución de planta | 121 |
| Figura 38. Propuesta distribución de planta | 122 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Conceptos de mantenimiento | 26 |
| Tabla 2. Conceptos de optimización | 27 |
| Tabla 3. Conceptos Lean Manufacturing | 28 |
| Tabla 4. Conceptos distribución de planta | 30 |
| Tabla 5. Conceptos de indicadores | 31 |
| Tabla 6. Conceptos de eficiencia | 32 |
| Tabla 7. Conceptos de eficacia | 32 |
| Tabla 8. Conceptos de productividad | 33 |
| Tabla 9. Formato para la toma y estandarización de tiempos | 35 |
| Tabla 10. Número de ciclos recomendado por la General Electric | 37 |
| Tabla 11. Calificación Westinghouse para esfuerzo | 38 |
| Tabla 12. Calificación Westinghouse para Destreza | 39 |
| Tabla 13. Calificación Westinghouse para consistencia | 39 |
| Tabla 14. Calificación Westinghouse para Condiciones | 40 |
| Tabla 15. Asignación de suplementos | 41 |
| Tabla 16. Caracterización herramientas Lean Manufacturing | 44 |
| Tabla 17. Fases del diseño de planta | 45 |
| Tabla 18. Hoja de vida de indicadores | 50 |
| Tabla 19. Normativa para el manejo de residuos | 55 |
| Tabla 20. Estándares de la compañía | 56 |
| Tabla 21. Herramientas de perforación a estudiar | 58 |
| Tabla 22. Estandarización de tiempos mantenimiento herramienta de telemetría | 64 |
| Tabla 23. Calificación mantenimiento herramienta de telemetría | 65 |
| Tabla 24. Asignación de suplementos mantenimiento herramienta de telemetría | 65 |
| Tabla 25. Estandarización de tiempos mantenimiento probeta de telemetría | 68 |
| Tabla 26. Calificaciones mantenimiento probeta de telemetría | 69 |
| Tabla 27. Asignación de suplementos mantenimiento probeta de telemetría | 69 |
| Tabla 28. Estandarización de tiempos para el mantenimiento de una probeta de Gamma | 72 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 29. Estandarización de tiempos para el mantenimiento de una probeta direccional | 75 |
| Tabla 30. Estandarización de tiempos para el mantenimiento de un inserto procesador | 79 |
| Tabla 31. Calificación para el técnico mantenimiento de inserto direccional | 80 |
| Tabla 32. Suplementos de fatiga para el mantenimiento del inserto procesador | 80 |
| Tabla 33. Estandarización de tiempos mantenimiento inserto de presión | 83 |
| Tabla 34. Estandarización de tiempos mantenimiento de un inserto gamma | 86 |
| Tabla 35. Estandarización de tiempos para la herramienta resistividad 1 | 89 |
| Tabla 36. Calificación de desempeño herramienta resistividad 1 | 90 |
| Tabla 37. Suplementos de fatiga asociados al mantenimiento de la herramienta resistividad 1 | 90 |
| Tabla 38. Estandarización de tiempos herramienta de resistividad 2 | 93 |
| Tabla 39. Desperdicios Lean evidenciados en el acompañamiento a los procesos | 100 |
| Tabla 40. Selección herramientas Lean Manufacturing | 102 |
| Tabla 41. Plantillas de inventario herramientas de mano | 106 |
| Tabla 42. Cronograma de limpieza áreas de trabajo | 107 |
| Tabla 43. Control visual Andon | 109 |
| Tabla 44. Identificación y trazabilidad de las herramientas | 110 |
| Tabla 45. Tablero Kanban | 112 |
| Tabla 46. Tarjetas para el diligenciamiento del tablero Kanban | 112 |
| Tabla 47. Matriz cualitativa Impacto-Costo | 113 |
| Tabla 48. Flujo de herramientas en el área de mantenimiento | 115 |
| Tabla 49. Descripción calificación de cercanía | 117 |
| Tabla 50. Razón de cercanía | 117 |
| Tabla 51. Hoja de vida indicador disponibilidad | 124 |
| Tabla 52. Hoja de vida indicador rendimiento | 125 |
| Tabla 53. Hoja de vida indicador Porcentaje de mantenimiento planificado | 126 |
| Tabla 54. Hoja de vida indicador Tiempo medio de reparación | 127 |
| Tabla 55. Hoja de vida indicador calidad | 128 |
| Tabla 56. Efectividad Total de Equipos Productivos | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 57. Hoja de vida indicador Calidad a la primera | 130 |
| Tabla 58. Productividad de la mano de obra | 131 |
| Tabla 59. Hoja de vida indicadores | 132 |

RESUMEN

El rediseño de operaciones para la optimización del mantenimiento de herramientas de perforación en una empresa de servicios petroleros fue realizado tomando como base un diagnóstico inicial de la situación actual del área de trabajo, para que a través de la implementación de los principios del LEAN Manufacturing y la evaluación y propuesta de una nueva distribución de planta se pudiesen obtener soluciones que disminuyeran tiempos no productivos en las operaciones, generando un plan de acción que un futuro pueda ser implementado, monitoreado, evaluado y mantenido en el tiempo a través de indicadores claves de desempeño que permitan medir la eficiencia, eficacia y productividad de las operaciones.

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento, optimización, LEAN Manufacturing, distribución planta, indicadores desempeño, eficiencia, eficacia, productividad

INTRODUCCIÓN

Las empresas de servicios petroleros tienen como principal propósito brindar herramientas de la más alta calidad para el desarrollo de las diferentes operaciones en Campo. En el caso de la perforación, sus servicios se centran en la medición de propiedades del subsuelo, altas velocidades de penetración, y la generación de data de alta calidad para el análisis correspondiente por parte de los clientes.

El éxito del funcionamiento de estas herramientas cuando se encuentran en pozo depende principalmente de dos factores: el uso que le den los ingenieros de campo y el adecuado mantenimiento que se les realice en el taller, para este último factores como el conocimiento y entendimiento del proceso de mantenimiento, el orden, el diseño de la planta, la disposición de herramientas y materiales, entre otros, juegan un papel fundamental en el adecuado aprovechamiento del tiempo y los recursos dispuestos para la ejecución de las operaciones. Partiendo de principios básicos de Lean Manufacturing se pueden alcanzar dichos objetivos para obtener actividades más eficientes.

Por esta razón se hace necesaria la evaluación y el rediseño de las operaciones para el mantenimiento de herramientas de perforación en una empresa de servicios petroleros tomando como base principios de Lean Manufacturing como el VSM, las 5S, las mudas o desperdicios y Andon, así como una evaluación de la distribución actual de planta y la generación de indicadores claves de desempeño para la evaluación de la eficiencia, eficacia y productividad de las operaciones, partiendo del principio de alto impacto-bajo costo que permitirá soluciones sencillas que generarán resultados positivos para las operaciones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las crisis sociales, políticas y económicas han llevado a la industria petrolera a una incertidumbre en el desarrollo de proyectos de perforación que repercute directamente en la planeación de las actividades operacionales por parte de las compañías operadoras [1]. De este modo, las empresas de servicios petroleros deben adaptarse a esos cambios abruptos en la demanda de herramientas que desencadenan una falta de articulación entre la misma y los servicios de mantenimiento, generando limitaciones en la contratación del personal en el taller, cancelaciones y/o variaciones en los requerimientos establecidos inicialmente por los clientes [2, 3], así como por la transferencia de las mismas a países cuya necesidad sea más rentable para la compañía, haciendo que las existencias disponibles sufran un mayor desgaste y se tornen insuficientes para suplir la demanda correspondiente [4, 5].

Las operaciones de mantenimiento desarrolladas por las empresas de servicios petroleros son clasificadas dependiendo del servicio prestado (perforación, completamiento, fluidos de perforación, entre otros.), por ello requieren de disposiciones específicas para un mejor manejo logístico y financiero [4].

De esta forma, el diseño del área destinada para el mantenimiento de herramientas de perforación se ve limitada por el área disponible, basándose principalmente en una distribución por producto, teniendo en cuenta los requerimientos y las tecnologías asociadas a las mismas, su condición física y el tipo de servicio que requiera realizarse por parte de los técnicos, el cual en la mayoría de los casos al no contar con los insumos necesarios para las operaciones genera traslados innecesarios por parte del personal conllevando a tiempos muertos en los procesos de mantenimiento [6].

Los elevados tiempos en el mantenimiento de las herramientas de perforación de pozos petroleros lleva a cuellos de botella en el área de mantenimiento, generando desaprovechamiento de los recursos provistos para los mismos e incumplimiento en los

tiempos de entrega para los clientes [4]. Asociado al personal las variaciones en la demanda y en las herramientas requeridas conllevan a horas extra por parte de los técnicos, incrementando su factor de fatiga, generando mantenimientos incompletos que se desencadenan en fallas de la herramienta en campo [7]. Todo lo anterior repercute directamente en el aumento de tiempos no productivos para los clientes, asociado a pérdidas de contratos por la percepción del nivel de servicio y disminución de ingresos para la compañía que directamente influye en la estabilidad laboral del personal [6].

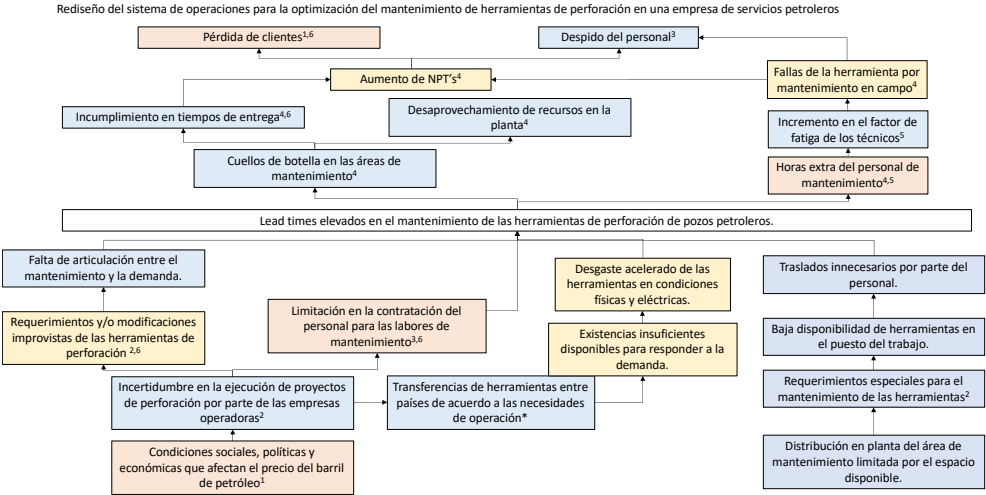
El propósito de este proyecto consiste en realizar un diagnóstico del actual funcionamiento de la planta de mantenimiento, por medio una estandarización de los procesos realizados a las herramientas de perforación de mayor demanda e identificando oportunidades de mejora basadas en el principio alto impacto – bajo costo y la disminución de desperdicios LEAN, así como una evaluación de la actual distribución de la planta de mantenimiento, con el fin de evaluar el actual diseño con el cual cuenta la compañía actualmente. La aplicación de este proyecto podría llevar a procesos de mantenimiento óptimos para herramientas de alta rotación en la compañía, disminución en tiempos no productivos y fallas asociadas al mantenimiento, cumpliendo con la demanda requerida y permitiendo extrapolar la presente metodología a otras líneas de servicios dentro de la empresa.

En los últimos años las estrategias para la optimización de mantenimiento han sido de gran importancia para las compañías ya que se ha evidenciado que, a través de la estandarización de los métodos de trabajo, una adecuada distribución en planta, y aspectos asociados a un entorno de trabajo ordenado se ven reflejados en disminución de tiempos muertos, optimización de las operaciones y, por ende, beneficios económicos para las empresas [8]. Michael Guy resalta la importancia de la adecuada selección de las estrategias de mantenimiento, describiendo las diferentes formas de realizarla y siempre destacando el propósito principal, adicionar valor a los procesos mediante la mejora continua, mientras se reducen los costos de las operaciones [9]. Así mismo, Mohamed Er-Ratby destaca la caracterización de las operaciones y los indicadores de

desempeño como unos de los factores claves en la mejora continua de los procesos, ya que permiten identificar de una forma más objetiva las acciones a mejorar y de igual manera la evaluar los planes de acción propuestos para abordarlos [10].

Estas temáticas actualmente se encuentran tomando cada vez más fuerza en las empresas con plantas de producción y mantenimiento, toda vez que, a pesar de contar con recursos y procedimientos establecidos para sus productos, se siguen evidenciando cuellos de botella, tiempos muertos y oportunidades de mejora en los procesos [9]. A pesar de que las herramientas de LEAN surgen en 1991 por James P. Womack, fue desde la crisis del 2008 que las empresas buscaron fortalecerse en ámbitos la optimización de sus procesos productivo, que les permitieran economizar costos por medio de acciones sencillas. Tal y como lo describe Lukazs Dekier, estas técnicas son sucesoras del Sistema de Producción Toyota y ha sido probada y validada por diferentes científicos y profesionales como Woman JP y Jones DT, siendo ahora un sistema que como cita el autor, perdurará como una de las mejores tradiciones de gestión [11].

Figura 1.
Árbol del problema



Nota. La figura define las causas, consecuencias y el problema principal de la presente investigación.

1.1. Antecedentes

La necesidad de una adecuada distribución de planta surge a finales de los años 50's siendo abordada por Richard Muther en 1961, mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP), siendo la más aceptada en para un diseño de distribución a partir de criterios cualitativos al contemplar restricciones de espacio y limitaciones asociadas a los diferentes procesos [12]. Chee Ailing mediante su implementación de esta técnica, e identificando la mejor alternativa a través de mediciones de desempeño como distancia y tiempo total del viaje, utilización promedio de recursos, etc. [13].

Las herramientas LEAN han tomado gran fuerza en los últimos años debido a los grandes beneficios que proporcionan a las compañías mediante soluciones sencillas de aplicar y a un bajo costo. Gustav Fredriksson y Hannah Larson describen en su investigación las principales estrategias para plantas de mantenimiento basados en estos principios, caracterizando las labores realizadas en la compañía, identificando las áreas problema y planteando soluciones para las mismas, acompañado por indicadores que permitan medir el desempeño de las acciones propuestas [14]. Orlando Durán en su estudio para la optimización del mantenimiento en plantas termoeléctricas señala los principales problemas evidenciados en la planta y los relaciona directamente con las herramientas LEAN que solucionarían dichas falencias [15]. Una aplicación que asocia métricas de desempeño de estas implementaciones es la realizada por Diego Manotas y Orlando Rivera, quienes plasman en su investigación la importancia de asociar las técnicas LEAN con métricas asociadas para ratificar la eficacia de estas herramientas [16].

Asociado a la distribución de planta una adecuada disposición del personal, de recursos y maquinarias se verán reflejados en disminución de tiempos muertos e incremento en la productividad. Soboth Patill evidenció los beneficios de las operaciones con una adecuada distribución en su área de producción, teniendo en

cuenta las condiciones asociadas a sus procesos lograron minimizar el tiempo de manipulación de materiales, el costo de mano de obra y el costo de transporte para

algunas operaciones [17]. De igual manera, Uzair Thakur mediante la optimización de la distribución de una planta existente los costos de transporte del personal pueden reducirse cerca de un 57% [18].

1.2. Pregunta de investigación

¿Cuáles son las características a tener en cuenta para un rediseño al sistema de operaciones el área de perforación en una empresa de servicios petroleros?

1.3. Justificación

Uno de los principales objetivos de las empresas prestadoras de servicios petroleros es brindar a sus clientes (empresas operadoras de los campos) herramientas de calidad que les permitan cumplir sus objetivos operacionales en el menor tiempo y costo posible. Este propósito se lleva a cabo desde el mantenimiento al cual son sometidos las distintas herramientas de perforación, pues de ello depende su funcionamiento exitoso en campo, sin fallas ni interrupciones en la operación [4].

Por esta razón es importante analizar las actividades asociados al mantenimiento de las herramientas y su duración, estandarizando los tiempos de las tareas e identificando cuellos de botella y oportunidades de mejora en las distintas áreas de operaciones, con un enfoque en la disminución de desperdicios LEAN que permitan el cumplimiento de la demanda en los tiempos óptimos y garantizando la más alta calidad en las herramientas, factor por la cual es reconocida la compañía entre los clientes [15].

Adicionalmente, una adecuada distribución de la planta permitirá reducir los traslados del personal y de las herramientas en el área de mantenimiento, permitiendo un mejor desarrollo de los diversos procesos realizados en la planta desde que las herramientas llegan a la planta hasta que se encuentran listas para un nuevo trabajo en campo [17].

Se resalta dentro de investigaciones realizadas se destaca la elaborada por Hana Pacaiova y Gabriela Izarikova donde mencionan la implementación del principio TPM (Total Productive Maintenance) en pro de optimizar las operaciones de producción en

una compañía de producción de automóviles, sin embargo, no se contemplan otras herramientas LEAN que pueden contribuir con la mejora de los procesos [19]. Igualmente, Bambang Suhardi y Maudiena Hermas plantean en su documento el uso de VSM (Value Stream Mapping) para la identificación de las oportunidades de mejora en procesos productivos de productos textiles. Para ambos casos [20], el seguimiento de las implementaciones por medio de indicadores de desempeño es considerado clave en el éxito de sus estudios.

Referente a los diseños de planta, Hanwen y Xiaobing Liu en su estudio resalta los beneficios del diseño de planta en las operaciones mediante la metodología SLP (Systematic Layout Planning), obteniendo grandes beneficios en los procesos gracias a los nuevos diseños mediante la simulación en el programa FlexSim [21].

1.4. Hipótesis

Es posible realizar una propuesta para la optimización de las operaciones de mantenimiento de herramientas de perforación de pozos petroleros mediante la estandarización de los procesos, la implementación de técnicas LEAN y un rediseño de la distribución de planta, que permitan mediante soluciones de alto impacto-bajo actividades eficientes y eficaces que puedan ser monitoreadas a partir de indicadores de desempeño.

1.5. Objetivo General

Proponer un rediseño al sistema de mantenimiento del área de perforación en una empresa de servicios petroleros mediante herramientas que permitan la optimización de las operaciones para reducir el lead time de los mantenimientos de las herramientas.

1.6. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de los procesos de mantenimiento y la distribución en planta de las herramientas por medio de un acompañamiento a los procesos para

establecer oportunidades de mejora en la entrega de los elementos requeridos en el área de perforación

- Elaborar propuestas de mejora para el proceso de mantenimiento a través de herramientas LEAN, identificando sus ventajas prácticas y definiendo las directrices para su posterior implementación.
- Realizar un diseño para la distribución de planta, comparando el esquema actual con el propuesto, mediante una metodología que permita disminuir los traslados del personal y los tiempos de operación de mantenimiento.
- Establecer indicadores claves de rendimiento a través de metodologías que permitan medir la eficiencia, eficacia y productividad de las operaciones, llevando a cabo actividades de control y seguimiento del área de perforación en la empresa en estudio.

2. METODOLOGÍA

El proyecto de investigación tendrá como cobertura la planta de mantenimiento de la compañía prestadora de servicios localizada en Cota – Cundinamarca, específicamente en la línea perforación teniendo en cuenta que la compañía cuenta con plantas de producción a nivel mundial con el mismo principio de funcionamiento [4]. Como ejes temáticos serán trabajados la estandarización de procesos, herramientas LEAN y el diseño y distribución de instalaciones. Será ejecutado en el periodo del segundo semestre del 2021, con un horizonte de estudio de 4 meses.

En esta sección se describen el tipo y método de investigación, las fuentes y técnicas a implementar para la obtención de información, así como las fases y actividades asociadas para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados.

2.1. Tipo y método de investigación

La propuesta de investigación será desarrollada por un enfoque mixto, con un enfoque cuantitativo para la estandarización de tiempos de los diferentes procesos de mantenimiento, a través de método inductivo para la toma de muestras y criterios estadísticos que garanticen tiempos estándar consistentes en las operaciones, y cualitativo para el planteamiento de estrategias LEAN, la evaluación del diseño de planta y el desarrollo de los indicadores de desempeño mediante un método deductivo que involucra la observación de las actividades desarrolladas.

2.2. Fuentes y técnicas de obtención de información de investigación

Como fuente primaria se tendrá el acompañamiento a los procesos en la base de operaciones, para la toma de tiempos e identificación de oportunidades de mejora en los procesos y el diseño de las instalaciones, y secundarias como las fichas técnicas de mantenimiento de las herramientas, así como la revisión de revistas científicas que involucren la aplicación de las temáticas planteadas.

2.3. Fases

La presente investigación será desarrollada por medio de las fases que se nombran a continuación, para las cuales se describen las actividades asociadas a las mismas.

2.3.1. Fase exploratoria

Se realizará un acompañamiento a los procesos de mantenimiento de las herramientas de perforación, un reconocimiento del área de operaciones, y de los estándares de la compañía para la posterior estandarización de los procesos e identificación de oportunidades de mejora. Para ello, se resaltan siguientes actividades

- Reconocer del área y los procesos de mantenimiento
- Realizar trabajo de campo mediante la observación directa de las actividades enmarcadas en los procesos de mantenimiento de las herramientas de perforación
- Diseñar la herramienta para la evaluación del desempeño de los técnicos en el proceso de mantenimiento
- Realizar la toma de tiempos de acuerdo al número de ciclos definido
- Recolectar información de cada una de las sub-áreas en las cuales se realizará la implementación de las herramientas LEAN
- Recolectar información relacionada con las áreas y secciones de la distribución de planta actual.

2.3.2. Fase descriptiva

Consiste en una descripción detallada de los procesos de mantenimiento, mediante la esquematización de los mismos y la estandarización de tiempos. identificando las oportunidades de mejora. Con respecto a la distribución de planta se realizará una

- Esquematizar los procesos de mantenimiento de las herramientas y la distribución actual de planta.
- Describir el flujo de las herramientas en el área de mantenimiento.
- Establecer relaciones entre las áreas de mantenimiento

2.3.3. Fase de diseño

A partir de la caracterización realizada en el inciso anterior se procede a dar solución a los interrogantes del proyecto, los cuales se enlistan a continuación:

- Establecer las herramientas para la evaluación del desempeño y asignación de suplementos
- Desarrollar la matriz impacto-costo para las oportunidades de mejora, tomando como base los principios LEAN Manufacturing
- Desarrollo de una propuesta alterna para el diseño de la planta de mantenimiento
- Diseñar batería de Indicadores de desempeño y sus respectivas fichas técnicas

2.3.4. Fase de análisis

Con los resultados obtenidos en trabajo de campo y el desarrollo de las herramientas que permitan el análisis de la información recolectada se procede a:

- Analizar de los resultados de la evaluación del desempeño de las operaciones
- Identificar las oportunidades de mejora mediante la aplicación del concepto de desperdicios LEAN
- Evaluar el diseño de planta actual, identificando las áreas críticas en el proceso de mantenimiento
- Analizar la pertinencia de los indicadores frente al proceso de mantenimiento

3. MARCO REFERENCIAL

En este apartado se relacionarán todos los conceptos técnicos, normativos y corporativos requeridos para el desarrollo de la presente investigación.

3.1. Marco Conceptual

Hace referencia a los términos y definiciones que serán abordados durante la ejecución del proyecto.

3.1.1. Mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento de las herramientas de perforación serán el objeto principal de estudio en la investigación, siendo consideradas las actividades encargadas de garantizar un funcionamiento exitoso y prolongar la vida útil de los diferentes activos. La tabla 1 menciona las principales definiciones de este concepto, destacando la definición de Emilio Andrea Calvo, donde menciona que son un conjunto de actividades cuyo fin es mantener un activo en condiciones óptimas para su buen uso [22].

Tabla 1.

Conceptos de mantenimiento

| Autor | Definición |
|------------------------------------|---|
| Maria Belén Muñoz Abella (2012) | Conjunto de operaciones cuyo principal objetivo es reparar y revisar maquinaria, para garantizar su buen funcionamiento. [23] |
| Emilio Andrea Calvo (2017) | Actividades destinadas a mantener o restablecer un activo a unas condiciones óptimas para su buen uso. [22] |

| Autor | Definición |
|------------------------------------|--|
| Oliverio García Palencia (2007) | Actividades que son desarrolladas en un orden congruente, con el principal propósito de generar condiciones de operación seguras, eficientes y económicas en los equipos [24]. |
| Abed Shokry (2012) | Un grupo de tareas organizadas que son desarrolladas para mantener un bien en su mejor condición operativa al menor costo posible [25]. |

Nota. La tabla sintetiza diferentes conceptos asociados al mantenimiento.

3.1.2. Optimización

El principal objetivo de este proyecto es la optimización de los procesos de mantenimiento, a continuación, se define este concepto por varios autores, adaptándose más la propuesta por Bram de Jonge, donde menciona el desarrollo de modelos que buscan mejorar las operaciones de mantenimiento. [26]

Tabla 2.

Conceptos de optimización

| Autor | Definición |
|-------------------------|--|
| Bram de Jonge (2020) | Desarrollo y análisis de distintos modelos desarrollados con el fin de mejorar las tareas de mantenimiento [26]. |
| AJ Kulkarni (2017) | Consiste en lograr la mejor o más favorable resultado (máximo o mínimo) para una situación dada [27] |

| Autor | Definición |
|---------------------------|---|
| Guillermo López (2017) | Dependiendo del contexto, es la maximización u minimización de un aspecto clave en un proceso, que genera el mejor aprovechamiento de los recursos [28] |

Nota. La tabla resume conceptos de diferentes autores sobre la optimización.

3.1.3. LEAN Manufacturing

Las herramientas LEAN son consideradas fundamentales en la mayoría de las compañías, debido a la relación alto impacto-bajo costo que proporciona su implementación. Estas se pueden definir como se muestra en la Tabla 3, de dichas definiciones, la evidenciada por Rothstein, quien resalta uno de los principales objetivos de la investigación, la definición de desperdicios. [29]

Tabla 3.

Conceptos Lean Manufacturing

| Autor | Definición |
|---------------------|--|
| Alukal (2003) | Es una filosofía que acorta el Lead Time de los productos, a través de la eliminación de sus desperdicios. Reduce costos y operaciones no necesarias, dando como resultado operaciones competitivas y ágiles. [30] |
| Rothstein (2004) | Es una iniciativa de las empresas que tiene como objetivo principal la disminución de desperdicios. Dentro de sus prácticas se destacan inventarios |

| Autor | Definición |
|---------------------------|--|
| | con stock, trabajo en equipo, personal multitareas y comprometido con sus labores y políticas que garanticen la calidad de los productos a través de los procesos. [29] |
| Likkers (1996) | Una filosofía que cuando se implementa reduce el tiempo de entrega de productos a los clientes por medio de la eliminación de fuentes de desperdicios en el proceso productivo. [31] |
| Taj and Morosan (2011) | Un acercamiento multidimensional que consiste en el desarrollo de operaciones con el mínimo costo, a través de procesos de mejora continua, que tienen un impacto positivo en la ejecución de las diferentes actividades. [32] |

Nota. La tabla resume diversos conceptos de LEAN Manufacturing.

3.1.4. Distribución de planta

El diseño y la distribución de las instalaciones se considera un factor clave en el éxito de operaciones eficientes y eficaces. En la tabla 4 se encuentran definiciones de este concepto. La definición propuesta por Muther es considerada la más adecuada para la presente investigación, resaltando que es una herramienta propia de la ingeniería industria que plasma la solución óptima de diseño de un centro de trabajo. [33]

Tabla 4.

Conceptos distribución de planta

| Autor | Definición |
|-----------------------------|---|
| Chaese y Aquilano (2004) | Consiste en determinar la localización de las estaciones de trabajo, maquinarias y puntos de almacenamiento de una instalación. Busca garantizar el flujo continuo de las operaciones. [34] |
| Forencio (2010) | Es la ordenación física de los elementos industriales y/o comerciales, incluyendo espacios necesarios para el flujo de material y el personal, almacenamiento y todas las actividades que sean involucradas en el servicio [35]. |
| Muther (2005) | Herramienta propia de la ingeniería industrial que busca plasmar la solución óptima de diseño de un centro de trabajo, considerando factores como movimiento de material, almacenamiento, trabajadores y demás actividades, que permita que las operaciones se ejecuten de forma racional y eficiente. [33] |

Nota. La tabla sintetiza definiciones de la distribución de planta.

3.1.5. Indicadores

Los indicadores de desempeño van a permitir la evaluación constante de medidas implementadas, garantizando que perduren en el tiempo y sean ejecutadas de la mejor manera posible. En la tabla 5 se resaltan algunas definiciones de este concepto.

Bonnefoy y Arrijo destacan que son herramientas que proporcionan información cuantitativa de la ejecución de diferentes tareas. [36]

Tabla 5.

Conceptos de indicadores

| Autor | Definición |
|-----------------------------|---|
| Bonnefoy y Arrijo (2005) | Son herramientas que proporcionan información cuantitativa sobre la ejecución de tareas o labores de una institución. Establecen una relación de dos o más variables, y pueden ser comparadas entre distintos periodos de tiempo, referencias de productos y demás para medir los avances desarrollados. [36] |
| DANE (2009) | Es una expresión cuantitativas observable y verificable para la descripción de fenómenos de la realidad. [37] |
| CONEVAL | Es una herramienta que muestra indicios o señales de una situación u actividad. [38] |

Nota. La tabla resume definiciones de indicadores

3.1.6. Eficiencia

Para el adecuado diseño de los indicadores se hace necesario la definición de la eficiencia, siendo la propuesta por propuesta por Aedo la considerada para el proyecto, al mencionar la proporción en la cual se cumplen los objetivos teniendo en cuenta criterios de calidad. [39]

Tabla 6.

Conceptos de eficiencia

| Autor | Definición |
|--------------------|--|
| Quijano (2006) | Alcanzar las metas bajo el funcionamiento óptimo de las empresas. [40] |
| ISO 9000 (2008) | Relación entre el resultado obtenido y los recursos empleados. [41] |
| Aedo (2005) | Grado en el que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados esperados [41] |
| Summanth (2004) | Relación entre la producción real y la estándar proyectada [42]. |

Nota. La tabla resume algunas definiciones de la eficiencia.

3.1.7. Eficacia

La eficacia es otro concepto clave a tener en cuenta para la generación de los indicadores, siendo definido por:

Tabla 7.

Conceptos de eficacia

| Autor | Definición |
|--------------------------|---|
| Gutiérrez (2005) | Resultados que cumplen criterios de calidad. [43] |
| Diez De Castro (2002) | Capacidad para alcanzar los resultados planteados. [44] |

| Autor | Definición |
|-------------------------|--|
| Aedo (2005) | Forma en la que se cumplen los objetivos, a partir de criterios de calidad. [39] |
| Mallo y Merlo (1995) | Grado en que las salidas actuales corresponde con las deseadas [45] |

Nota. La tabla muestra algunas definiciones para la eficacia.

3.1.8. Productividad

Un aspecto clave en los indicadores de gestión es la productividad. La Tabla 8 resume algunos conceptos.

Tabla 8.

Conceptos de productividad

| Autor | Definición |
|---|--|
| OCEE (1950) | Es lo que resulta de la división de la producción con algún factor de producción [46]. |
| Mónica Sladogna (2017) | Se define como el uso eficiente de los recursos de una organización [47] |
| Stefan Tangen (2003) | Es la relación entre las salidas (productos de calidad), dividido en las entradas (recursos necesarios) en un proceso productivo [48]. |
| Productivity: Concepts, measurements and performance. | La eficiencia con la que una empresa utiliza sus recursos en los procesos productivos para generar outputs con calidad [49]. |

Nota. La tabla resume algunos conceptos de productividad.

3.2. Marco teórico

En este inciso se presentan los procedimientos y los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo y cumplimiento adecuado de los objetivos propuestos.

3.2.1. Estandarización de procesos

La estandarización de tiempos es clave para que las organizaciones puedan desarrollar una planeación adecuada de sus operaciones, a continuación, se mencionan los aspectos requisitos a tener en cuenta para el desarrollo de esta actividad.

- Se debe tener un acercamiento previo a los supervisores y operarios para informarles acerca del estudio de las operaciones.
- El operario debe contar con experiencia en los procesos a estudiar y garantizar que los métodos a emplear son los correctos.
- En caso de disponer varios operarios para el estudio, se debe contar con quien tendrá los resultados más satisfactorios.
- Se deben esquematizar los procesos a estudiar con el fin de tener claridad sobre los distintos elementos que permita identificar y analizar adecuadamente las oportunidades de mejora (diagramas de flujo, operaciones, entre otros).

Sobre los equipos requeridos se hace necesario de disponer de un cronómetro que permita mediciones exactas de los tiempos de cada operación. Cuando los cronómetros son utilizados se hace necesario el uso de un formato adecuado que permita diligenciar la información obtenida durante el estudio. La Tabla 9 muestra un formato base el registro de los datos, en los cuales se utilizan las siguientes convenciones [50]:

- C para calificaciones
- TC para tiempo cronómetro
- TO tiempo observado (resta entre lecturas sucesivas del cronómetro)
- TN para tiempo normal.

Tabla 9.

Formato para la toma y estandarización de tiempos

| Formulario para observación de estudio de tiempos | | Estudio número | | | | Fecha | | | | Página | | | |
|---|-------|----------------|-----|-------------|----|------------------------|----|----|----|------------|----|----|----|
| Elemento número y descripción | | Operación | | | | Operario | | | | Observador | | | |
| | | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | |
| Nota | Ciclo | C | TC | TO | TN | C | TC | TO | TN | C | TC | TO | TN |
| | 1 | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | |
| Resumen | | | | | | | | | | | | | |
| TO Total | | | | | | | | | | | | | |
| Calificación | | | | | | | | | | | | | |
| TN Total | | | | | | | | | | | | | |
| Número de observaciones | | | | | | | | | | | | | |
| TN Promedio | | | | | | | | | | | | | |
| %Suplementos | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo Est. Elementos | | | | | | | | | | | | | |
| Numero de ocurrencias | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo estándar | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo estándar total (Suma del tiempo estándar de todos los elementos) | | | | | | | | | | | | | |
| Elementos extraños | | | | | | Resumen de suplementos | | | | | | | |
| Sim | TC1 | TC2 | TC3 | Descripción | | Necesidades personales | | | | | | | |
| A | | | | | | Fatiga básica | | | | | | | |
| B | | | | | | Fatiga variable | | | | | | | |
| C | | | | | | Especial | | | | | | | |
| D | | | | | | % de suplemento total | | | | | | | |
| E | | | | | | Observaciones | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | |
| Verificación de Calificación | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo sintético | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo Observado | | | | | | | | | | | | | |

Nota. La tabla ilustra un formato de diligenciamiento para el estudio de tiempos. Tomado de Niebel.

Es importante identificar los elementos de estandarización de proceso: Mano de obra, maquinaria y equipos, materiales y tiempo, siendo importante mencionar que las operaciones asociadas a la mano de obra son las que requieren una estandarización de los procesos. Para hacer las mediciones más sencillas de analizar se deben dividir las operaciones en elementos.

Adicionalmente, es necesario mencionar los dos métodos para el estudio de tiempos:

- Método de vuelta a cero: El cronómetro es reiniciado cada que inicia una operación, siendo recomendado para elementos prolongados. Como principal desventaja se tiene que no son considerados los tiempos que ocurren entre las operaciones
- Método continuo: Presenta un registro completo de todo el periodo de observación. Se adapta muy bien para elementos cortos.

El número de ciclos para el estudio hacen referencia a la cantidad de muestras que deben tomarse de los procesos para tener información consistente de la duración de los mismos, dentro de ellas se destacan la clasificación de la General Electric (Tabla 10), la cual establece valores aproximados del número de ciclos que deben ser observados. Sin embargo, esta tabla es recomendada cuando el proceso a estudiar cuenta con aspectos muy similares a los empleados por la compañía, y cuando es aplicado en casos contrarios puede incurrir en grandes incertidumbres durante las estimaciones [50].

Tabla 10.

Número de ciclos recomendado por la General Electric

| Tiempo de ciclo en min | Numero recomendado de ciclos |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 0,10 | 200 |
| 0,25 | 100 |
| 0,50 | 60 |
| 0,75 | 40 |
| 1,00 | 30 |
| 2,00 | 20 |
| 2,00-5,00 | 15 |
| 5,00-10,00 | 10 |
| 10,00-20,00 | 8 |
| 20,00-40,00 | 5 |
| 40,00 o más | 3 |

Nota. La figura describe el número de ciclos a medir para un proceso teniendo en cuenta su duración en minutos. Tomado de Niebel.

Así mismo se puede establecer un número de ciclos más exacto a través de métodos estadísticos, para el cual el número de muestras a observar se calcula a través de:

$$n = \left(\frac{t \cdot s}{k \cdot \bar{x}} \right)^2$$

Donde,

n es el número de ciclos a tomar

t es el valor t de student

s es la desviación estándar

k es el factor de aceptación (5%)

\bar{x} es el promedio de las mediciones efectuadas.

Debe considerarse dentro de este estudio una calificación del desempeño del operario, en la cual se evalúa la habilidad y el esfuerzo de la persona encargada de realizar las operaciones. En este proyecto será empleada la calificación Westinghouse, la cual se consideran cuatro factores para evaluar al operario: habilidad esfuerzo, condiciones y consistencia. Para este sistema existen seis grados de evaluación (deficiente, regular, aceptable, buena, excelente u óptima), de esta manera, se debe asignar a cada categoría una evaluación dependiendo de lo observado en el proceso. Las tablas 11 a 14 evidencian el factor C del desempeño de acuerdo a cada calificación [50].

Tabla 11.

Calificación Westinghouse para esfuerzo

| Esfuerzo | |
|-----------------|-----------------|
| (+)0,13 | A1 - Excesivo |
| (+)0,12 | A2 - Excesivo |
| (+)0,1 | B1 - Excelente |
| (+)0,08 | B2 - Excelente |
| (+)0,05 | C1 - Bueno |
| (+)0,02 | C2 - Bueno |
| 0 | D - Regular |
| (-)0,04 | E1 - Aceptable |
| (-)0,08 | E2 - Aceptable |
| (-)0,12 | F1 - Deficiente |
| (-)0,17 | F2 - Deficiente |

Nota. La tabla describe las calificaciones y el factor C para el factor Esfuerzo. Tomado de Niebel.

Tabla 12.

Calificación Westinghouse para Destreza

| Destreza | |
|-----------------|-----------------|
| (+)0,15 | A1 - Extrema |
| (+)0,13 | A2 - Extrema |
| (+)0,11 | B1 - Excelente |
| (+)0,08 | B2 - Excelente |
| (+)0,06 | C1 - Buena |
| (+)0,03 | C2 - Buena |
| 0 | D - Regular |
| (-)0,05 | E1 - Aceptable |
| (-)0,10 | E2 - Aceptable |
| (-)0,16 | F1 - Deficiente |
| (-)0,22 | F2 - Deficiente |

Nota. La tabla describe las calificaciones y el factor C para el factor Destreza. Tomado de Niebel

Tabla 13.

Calificación Westinghouse para consistencia

| Consistencia | |
|---------------------|---------------|
| (+)0,04 | A - Excelente |
| (+)0,03 | B - Buena |
| (+)0,01 | C - Buena |
| 0 | D - Regular |
| (-)0,02 | E - Aceptable |
| (-)0,04 | F - Aceptable |

Nota. La tabla describe las calificaciones y el factor C para el factor Consistencia. Tomado de Niebel

Tabla 14.

Calificación Westinghouse para Condiciones

| Condiciones | |
|--------------------|-----------------|
| (+)0,06 | A - Ideales |
| (+)0,04 | B - Excelentes |
| (+)0,02 | C - Buenas |
| 0 | D - Regulares |
| (-)0,03 | E - Aceptables |
| (-)0,07 | F - Deficientes |

Nota. La tabla describe las calificaciones y el factor C para el factor Condiciones. Tomado de Niebel

Así pues, el Tiempo Normal se estima de la siguiente manera

$$TN = TO * (C/100)$$

Seguido a esto se hace necesaria la asignación de suplementos que pueden ser interrupciones por necesidades fisiológicas de los operarios, fatiga debido a jornadas arduas de trabajo que puedan afectar su desempeño (suplementos totales) o imprevistos inevitables en el proceso tales como reuniones, pausas por alguna falla operativa, etc. (suplementos variables). Tal y como puede observarse en la Tabla 15.

Tabla 15.*Asignación de suplementos*

| 1. SUPLEMENTOS CONSTANTES | Hombre | Mujer |
|-------------------------------------|--------|-------|
| Por necesidades personales | 5 | 7 |
| Suplemento base por fatiga | 4 | 7 |
| 2. SUPLEMENTOS VARIABLES | | |
| A. Suplemento por trabajar de pie | 2 | 4 |
| B Suplemento por postura anormal | | |
| Ligeramente incómodo | 0 | 1 |
| Incómodo | 2 | 3 |
| Muy incómodo | 7 | 7 |
| C. Uso de fuerza o energía muscular | | |
| Levantar peso de 2,5 kg | 0 | 1 |
| Levantar peso de 5,0 kg | 1 | 2 |
| Levantar peso de 7,5 kg | 2 | 3 |
| Levantar peso de 10,0 kg | 3 | 4 |
| Levantar peso de 15,0 kg | 5 | 8 |
| Levantar peso de 17,5 kg | 7 | 10 |
| Levantar peso de 20 kg | 9 | 13 |
| Levantar peso de 25 kg | 13 | 20 |
| Levantar peso de 30 kg | 17 | - |
| Levantar peso de 35.5 kg | 22 | - |
| D. Mala iluminación | | |
| Ligeramente por debajo de estimado | 0 | 0 |
| Bastante por debajo de estimado | 2 | 2 |
| Absolutamente insuficiente | 5 | 5 |
| E. Condiciones atmosféricas | | |
| Medida en termómetro 16, 14 y 12 | 0 | 0 |
| Medida en termómetro 10 | 3 | 3 |
| Medida en termómetro 8 | 10 | 10 |
| Medida en termómetro 6 | 21 | 21 |
| Medida en termómetro 4 | 45 | 45 |
| Medida en termómetro 2 | 100 | 100 |
| F. Concentración intensa | | |
| Trabajos de cierta precisión | 0 | 0 |
| Trabajo de precisión o fatigosos | 2 | 2 |

| | | |
|---|---|---|
| Trabajo de gran precisión o muy fatigosos | 5 | 5 |
| G. Ruidos | | |
| Ruido continuo | 0 | 0 |
| Intermitentes o fuerte | 2 | 2 |
| intermitentes y muy fuerte o estridente | 5 | 5 |
| H. Tensión mental | | |
| Proceso bastante complejo | 1 | 1 |
| Proceso complejo: Atención en exceso | 4 | 4 |
| Es muy complejo | 8 | 8 |
| I. Monotonía | | |
| Trabajo algo monótono | 0 | 0 |
| Trabajo bastante monótono | 1 | 1 |
| Trabajo muy monótono | 4 | 4 |
| J. Tedio | | |
| Trabajo algo aburrido | 0 | 0 |
| Trabajo aburrido | 2 | 1 |
| Trabajo muy aburrido | 5 | 2 |

Nota. La tabla muestra los suplementos constantes y variables a asignar en el estudio de tiempos. Tomado de Niebel

Así pues, el tiempo estándar se calcula como se muestra:

$$TS = TN + TN * Suplementos.$$

3.2.2. LEAN Manufacturing

El Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción concentrándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios (procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios).

Los principales pasos para desarrollar el LEAN son:

- Identificar el desperdicio dentro de los procesos de la empresa
- Actuar para eliminar el desperdicio a través de la herramienta LEAN más adecuada

- Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para, posteriormente, volver a iniciar el ciclo de mejora.

La aplicación de LEAN Manufacturing se da a partir de diversas herramientas, que pueden ser implementadas de forma independiente o conjunta en pro de optimizar las operaciones. El proyecto será abordado teniendo como base el principio Kaizen (mejora continua gradual). La Figura 2 muestra de forma gráfica los pilares de LEAN Manufacturing.

Figura 2.

Pilares Lean Manufacturing



Nota. La figura muestra de forma gráfica los pilares de LEAN Manufacturing. Tomado de Lean Manufacturing Yellow belt.

Como puede evidenciarse, dichas herramientas se clasifican de acuerdo a su función, para este caso la tabla 18 describe las herramientas de diagnóstico y operativas, ya que para seguimiento y control serán trabajados en otro inciso [51].

Tabla 16.*Caracterización herramientas Lean Manufacturing*

| Tipo de herramienta | Nombre de la herramienta | Uso principal |
|-----------------------------|--|---|
| Herramientas de Diagnóstico | VSM | Representación gráfica de los pasos de un proceso y su flujo de información. Permite entender el flujo del proceso e identificar actividades que no agregan valor, y así establecer planes de mejora. |
| Herramientas operativas | 5S's | Seiri (Seleccionar): Retirar del lugar de trabajo todos los artículos que no son necesario para realizar las operaciones. |
| | | Seiton (Organizar): Ordenar los artículos necesarios para el trabajo estableciendo un lugar específico para cada cosa, facilitando la identificación, localización y disposición. |
| | | Seiso (Limpiar): Eliminar suciedad. |
| | | Seiketsu (Estandarizar): Lograr que los procedimientos se ejecuten consistentemente para garantizar el mantenimiento de las técnicas en el trabajo. |
| | Shitsuke (Seguimiento): Actividad que nunca termina, mejorar los estándares, hacer recorridos Gemba, reconocer éxitos. | |
| | SMED (Single Minute Exchange of die) | Tiempos de preparación en un solo dígito de minuto. Realización de cambios en menos de 10 minutos, buscando maximizar la habilidad de entrega de productos o servicios a tiempo. |
| | TPM (Total Productive Maintenance) | Busca lograr la máxima efectividad del equipo a través de la participación de todos los miembros de la organización. |
| | Kanban | Sistema de comunicación que permite identificar y controlar el flujo de los artículos de manera efectiva. |

Nota. La tabla describe las herramientas LEAN Manufacturing a estudiar en la presente investigación.

Adicionalmente es necesario definir los desperdicios LEAN, a partir de los cuales serán planteadas las oportunidades de mejora:

- **Sobreproducción:** Uso no necesario de los medios industriales. Para solucionarlo se pueden implementar técnicas como Kanban y SMED.

- Esperas: Tiempos perdidos a causa de falta de herramientas, mientras finaliza un proceso de maquinaria, falta de materiales, etc. Como posibles estrategias de mitigación se encuentra la estandarización de procesos, Jidoka, entre otros.
- Transporte: Movimientos innecesarios por maquinaria y/o materiales. Para ello se hace necesaria una adecuada distribución de planta.
- Sobre procesamiento: Desarrollo de más procesos que los establecidos. Puede ser controlada mediante la estandarización de los procesos.
- Inventario: Presencia de materiales que no se emplean o falta de los mismos considerados necesarios en los procesos. [52]

3.2.3. Distribución en planta

La adecuada distribución de las instalaciones puede contribuir en la disminución de tiempos muertos en los diferentes procesos de mantenimiento, al evitar un traslado innecesario del personal por el área de operaciones.

El Systematic Layout Planning (SLP) es la metodología más utilizada para la resolución de problemas de distribución de planta a partir de criterios cualitativos, desarrollada por Richard Muther en los años 60. Su desarrollo consta de 4 fases, como se puede apreciar en la siguiente tabla [53]:

Tabla 17.

Fases del diseño de planta

| Fase | Descripción |
|-----------------------------|--|
| Fase I. Localización | En casos de redistribución consiste en determinar si se mantendrá la ubicación actual o si será necesario un traslado a un área con características similares. |
| Fase II. Layout General | Patrón de flujo para las áreas a considerar en los procesos. Se obtendrán las superficies requeridas, la relación entre las áreas y la configuración de las actividades. |
| Fase III. Layout de detalle | Estudio y preparación en detalle el plan de distribución alcanzado en el la Fase II, incluyendo el análisis, definición |

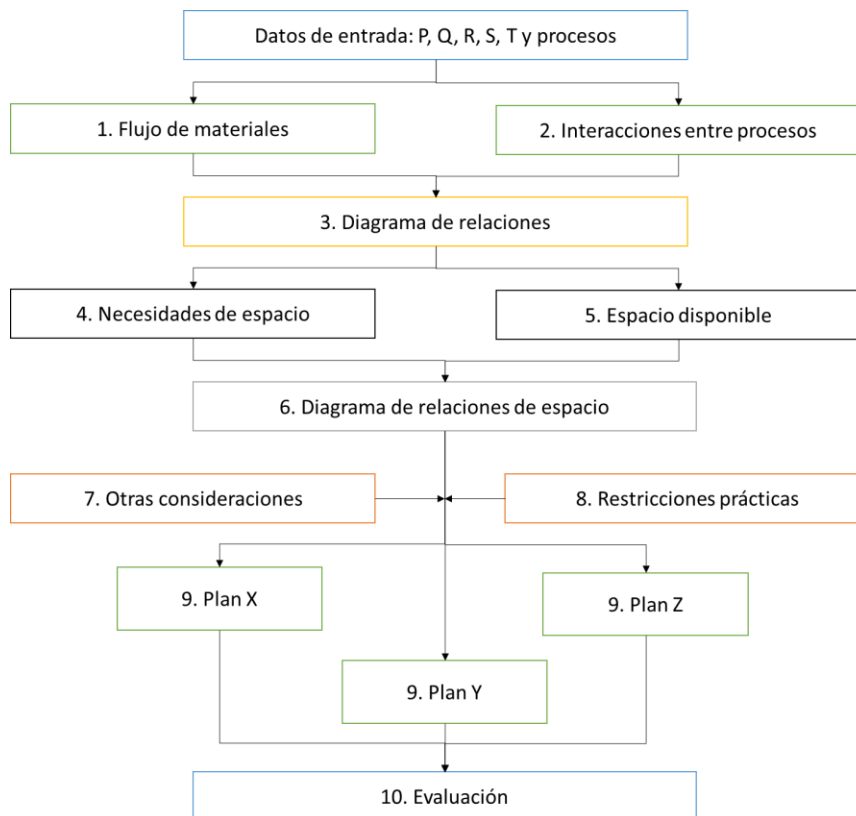
| | |
|----------------------|--|
| | y planificación de los lugares donde van a ser instalados los diferentes puestos de trabajo, maquinaria y demás requerimientos asociados a los procesos. |
| Fase IV. Instalación | Movimientos físicos para la instalación de lo diseñado en las fases anteriores. |

Nota. La figura describe las cuatro fases a desarrollar en el diseño de instalaciones.

El procedimiento para el desarrollo de un diseño de planta tomando la metodología SLP se observa de forma gráfica en la Figura 3, y será definido a continuación.

Figura 3.

Metodología SLP



Nota. La figura esquematiza el procedimiento a desarrollar para llevar a cabo la metodología SLP.

3.2.3.a. Flujo de materiales. Indica la secuencia e intensidad de movimiento de los materiales en el proceso.

3.2.3.b. Interacciones entre procesos. Identifica la relación que pueden tener uno o varios subprocesos dentro del sistema en general. Se puede emplear la tabla relacional de actividades para establecer las necesidades de proximidad entre cada área. Es importante tener en cuenta las notaciones que deben emplearse para describir las relaciones entre los diferentes procesos (Figuras 4 y 5).

Figura 4.

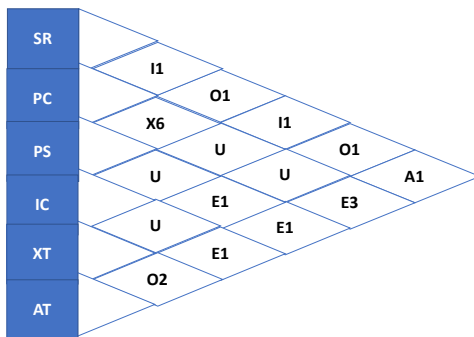
Convenciones para el diagrama de relación de operaciones

| Letra | Número | Líneas | Adyacencia | Color |
|-------|-----------|---|--------------------------|-------------|
| A | 4 |  | Absolutamente necesario | Rojo |
| E | 3 |  | Especialmente importante | Amarillo |
| I | 2 | | Importante | Verde |
| O | 1 | | Ordinario | Azul |
| U | 0 | | Irrelevante | *Sin color* |
| X | -1 | | No deseable | Café |
| XX | -2, -3... | | Imposible | Negro |

Nota. La figura describe las convenciones establecidas por la ASME en la esquematización de las relaciones entre las áreas.

Figura 5.

Tabla relacional



Nota. La figura ilustra un ejemplo de tabla relacional entre áreas teniendo en cuenta las convenciones establecidas por la ASME.

- Diagrama de relación de flujos y/o procesos: Teniendo en cuenta lo descrito en las Figuras 9 y 10, son utilizados para determinar el grado de cercanía deseada entre las áreas, mediante la esquematización de diagramas como PERT.

Si se trata de un rediseño existen numerosas técnicas para el análisis y la propuesta de nuevos esquemas en la planta, para este caso será trabajada la Metodología CRAFT (Técnica computarizada de asignación relativa de instalaciones), cuyo objetivo principal es el minimizar el costo total de transporte de una distribución. Asignándose un costo de movimiento a la entre los diferentes departamentos.

Los supuestos de esta metodología son:

- Costos de movimiento independientes de la utilización de equipos.
- El costo de movimiento es una función lineal de la longitud del movimiento.
- Los departamentos poseen una geometría rectangular y serán ubicados en sus centroides.

La metodología CRAFT consiste principalmente en [53]:

- Identificar la tabla de intensidad y las coordenadas iniciales de los distintos departamentos
- Estimar la distancia rectilínea entre los departamentos mediante la siguiente ecuación:

- Calcular la distancia total recorrida entre departamentos (producto de la tabla de intensidad y la tabla de distancias).
- Determinar la función objetivo inicial (suma de las distancias totales recorridas)
- Iniciar con las iteraciones (intercambiar pares de departamentos con límites adyacentes o con la misma área).
- Continuar con las iteraciones posibles hasta obtener el mínimo de la función objetivo.
- Determinar los nuevos centroides de los departamentos reubicados.
- Presentar la nueva propuesta de distribución de planta.

3.2.4. Indicadores de Gestión

Los indicadores de gestión son herramientas que permiten el monitoreo y control de las diversas actividades desarrolladas en las organizaciones, obteniendo información sobre el desempeño de medidas implementadas, permitiendo tomar medidas correctivas cuando sea necesario. Los principales patrones para la especificación de los indicadores son [54]:

3.2.4.a. Composición. Debe contar con las siguientes características:

- Nombre: Identificación que permita definir su objetivo y utilidad.
- Forma de cálculo: Al ser por lo general de carácter cuantitativo deben contar con la fórmula matemática para la estimación de su valor.
- Unidades: Van directamente ligadas con los factores que se relacionan
- Glosario: Términos que especifiquen de manera precisa los factores que lo componen.
- Deben ser SMART (Específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con plazos concretos).

3.2.4.b. Hoja de vida del indicador. Consigna la información mencionada anteriormente de una manera más técnica. La Tabla 18 ilustra un ejemplo de este formato.

Tabla 18.

Hoja de vida de indicadores

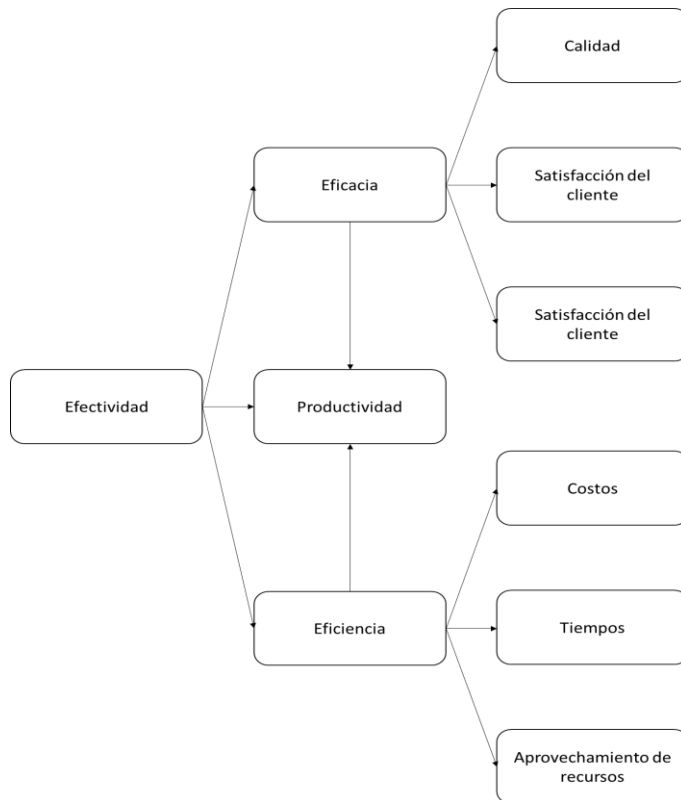
| Nombre de la empresa | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------------|-------------------|------|
| Área o proceso: | | | | |
| Responsable del indicador | | | | |
| Cargo | | | | |
| Nombre del indicador | | | | |
| Fórmula | | | | |
| Rango | Mínimo | | Cumplimiento | Meta |
| Fuentes de datos | | | | |
| Frecuencia de medición | | | Tipo de indicador | |
| Vigencia | | | | |
| Resultados | | | | |
| Periodo | Resultado | Observaciones | | |
| Periodo 1 | | | | |
| Periodo 2 | | | | |
| Periodo 3 | | | | |
| Periodo 4 | | | | |

Nota. La figura la hoja de vida e información a considerar para diseñar un indicador.

- Naturaleza: Se clasifican según los factores claves de éxito. La Figura 6 evidencia el mapa de factores claves de éxito de la gestión.

Figura 6.

Mapa de factores claves de éxito



Nota. La figura resalta los factores claves para tener en cuenta en el diseño de los indicadores de gestión.

- Vigencia: Pueden ser temporales (cuando su validez es de lapso finito) utilizados para la ejecución de un proyecto, o permanentes, cuando tiene factores que siempre se encuentran presentes en el desarrollo de las actividades de la operación.
- Nivel de generación y utilización: Hace referencia al área de la organización de donde será obtenida la información y donde será evaluado el indicador (estratégico, táctico, operativo, entre otros).
- Líneas base, metas y rangos de gestión:
- Línea base: Valor inicial o actual del indicador.
- Meta: Valor que se busca alcanzar y mantener.
- Rango de gestión: Valores mínimos y máximos permisibles que puede tomar un indicador [54].

3.3. Marco histórico

A continuación, se presentan los referentes históricos de las temáticas trabajadas en el proyecto.

3.3.1. Estandarización de procesos

La estandarización y optimización de los procesos se remonta a los años 1776 con la publicación de Adam Smith donde afirma la importancia de la división del trabajo para hacer de las empresas entes más competitivos, y, por ende, más ricos. Este principio fue acogido durante la revolución industrial mediante la especialización de los trabajadores en las diversas estructuras organizacionales.

Gracias a Frederick Taylor en el siglo XX son incorporados los conceptos de eficiencia, eficacia, productividad y métodos como la estandarización del trabajo, asegurando éxitos para las organizaciones. Así mismo, Henry Ford determinó los fundamentos de la producción en serie.

En 1916 Henry Fayol introduce la teoría clásica de la administración, donde resalta la importancia de la eficiencia de la organización más allá que de los individuos como tal. Para 1947 surge la teoría Estructuralista desarrollada por Max Weber, mediante la cual se busca el equilibrio de los recursos humanos mediante el estudio de cuatro elementos fundamentales: la autoridad, la comunicación, la estructura del comportamiento y de la formalización.

Más hacia el siglo XXI, para las empresas y la creciente complejidad de sus actividades se debe procurar la preparación de los componentes humanos, y la mejoría de los materiales, así como la estandarización de los procesos. Se resalta notoriamente los beneficios obtenidos en enfoques por procesos, (Nariño Hernández, Nogueira Rivera, & Medina León, 2014), en el marco de unas organizaciones orientadas a la mejora continua, la sistematización de los procesos, la participación activa del personal y el

trabajo en equipo. (Hernández Nariño, Medina León, Nogueira Rivera, & Marqués León, 2009).

3.3.2. LEAN Manufacturing

A pesar de que son unas técnicas cuyo origen se remonta a 1992, las herramientas LEAN toman fuerza en la crisis empresarial del 2008, donde surge la necesidad de las empresas para disminuir gastos en la ejecución de sus procesos. Emplean el cambio de cultura de las empresas mediante principios de comunicación, orden y trabajo en equipo, proporcionando soluciones sencillas y económicas con grandes beneficios para los procesos.

A partir de allí se destacan investigaciones como Lean Sigma & Minitab (2014), donde se presenta una guía práctica para la implementación de estas herramientas.

Para destacar se encuentra la publicación de García Alzaraz titulada *Lean Manufacturing in the developing world*, siendo una compilación de las diferentes contribuciones que trajo la aplicación de esta metodología en países de América Latina.

3.3.3. Distribución de planta

Las primeras teorías para la distribución de planta de forma ordenada y sistemática planta fueron desarrolladas por Muther en 1961, marcando el inicio de distintos heurísticos y técnicas para optimizar la ubicación de los sub-puestos de trabajo dentro de las instalaciones. Armour y Buffa (1963) propusieron un método de intercambio en parejas para los procesos de manufactura sin restricciones de forma. Tong (1991) afronta esta problemática problema asumiendo una forma rectangular para los departamentos. Tam (1992) implementó otro tipo de representación, la estructura del árbol de corte (STS), para modelar las instalaciones que tienen forma rectangular y geometría flexible, permitiendo variaciones entre la relación de altura y anchura de las distintas áreas. En 2013 Nawaz en su método propuesto para los FLPs multiobjetivo también usa la estructura del árbol, donde en un layout con n instalaciones, el árbol rebanado consiste

de n hojas y $n-1$ nodos internos, así, cada hoja representa una instalación y cada nodo interno contiene información acerca de la dirección del flujo de las operaciones.

A pesar de existir varias metodologías para el diseño de las instalaciones, la más aceptada por investigadores y aplicada por las compañías es la propuesta por Muther, al ser la que considera más aspectos técnicos dentro de su evaluación y diseño.

3.3.4. Indicadores de gestión

A partir de la revolución industrial el control de las transacciones y operaciones toma mayor relevancia, recalcando lo establecido en las teorías de Fayol y Taylor (Administración Industrial y general y La administración científica respectivamente), donde recalcaron la importancia del control y las responsabilidades. Su concepto se remonta en la filosofía de Calidad Total, creada en EEUU en los años 70's. De esta manera es necesario hacer referencia a las necesidades de las empresas de sobrevivir en los escenarios de mercado tan competitivos como los actuales.

De esta manera la presente investigación busca generar una sinergia entre las temáticas mencionadas que permita estandarizar los procesos e identificar a su vez oportunidades de mejora con enfoques LEAN y de distribución en Planta para la optimización de sus operaciones, permitiendo que sean medidos y evaluados mediante indicadores de desempeño para su control y seguimiento.

3.4. Marco normativo

Esta sección menciona los aspectos legales e institucionales a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto.

3.4.1. Manejo de químicos y sustancias peligrosas

Las operaciones de mantenimiento de las herramientas pueden involucrar el uso de químicos como limpiadores, grasas, pegantes y demás sustancias que requieren un almacenamiento, manejo y disposición especial. En la tabla 19 se muestran las principales normativas que rigen para el uso adecuado de estos materiales [55].

Tabla 19.

Normativa para el manejo de residuos

| Normativa | Aspecto a tratar |
|-------------------------|---|
| Ley 1252 de 2008 | Establecen las normas prohibitivas en materia ambiental, asociada a los residuos y desechos peligrosos. |
| Resolución 372 de 2009 | Establecen los elementos que deben constituir un plan de gestión de devolución de productos post-consumo de baterías usadas, plomo, ácido, etc. |
| Resolución 1297 de 2010 | Establece los sistemas de recolección y gestión ambiental de residuos de pilas y/o acumuladores. |
| Resolución 1512 de 2010 | Establece los sistemas de recolección y gestión ambiental de computadores y/o periféricos. |

Nota. La tabla nombra las principales normativas para el manejo de residuos establecida por la CAR.

3.4.2. Estándares de la compañía

Para el desarrollo de sus operaciones la organización se rige a partir de estándares globales que aplican para todas las sedes que la misma tenga en cualquier parte del mundo. A manera de resumen la Tabla 20 resalta los estándares asociados a operaciones de mantenimiento. [4]

Tabla 20.

Estándares de la compañía

| Nombre del estándar | Descripción |
|---|--|
| Repair and maintenance workshop material management | Manejo de inventarios, y consumibles para el mantenimiento de las herramientas |
| Identification and tractability | Trazabilidad de las herramientas en el área de mantenimiento |
| HSE Standards for R&M Workshops | Generalidades de seguridad, salud y orden en las áreas de trabajo |
| R&M Standard | Flujo de las herramientas y funcionamiento en el shop. |
| Powered and non-powered hand tools | Herramientas de mano, con Fuente de poder, hidráulica, etc. |
| Hazardous chemical product handling and storage | Manejo y almacenamiento de químicos |
| Primary lithium metal battery handling, storage and termination | Manejo de litio y baterías |
| Radiation safety administration | Manejo y almacenamiento de fuentes radioactivas |

Nota. La figura enlista los principales estándares de la compañía en estudio.

3.5. Marco institucional

La investigación será desarrollada en una de las empresas de servicios petroleros más reconocida a nivel mundial, compañía caracterizada por la constante búsqueda de optimización de sus actividades, sus generalidades son descritas a continuación [4].

3.5.1. Misión

Generar más crecimiento y retornos para nuestros accionistas ofreciendo tecnología y servicios que mejoren la eficiencia, aumenten la recuperación y maximicen la productividad de nuestros clientes

3.5.2. Visión

Entregar una experiencia para el cliente inigualable, como líderes globalmente competitivos, creativos y de pensamiento ético.

3.5.3. Propuesta de valor

Colaboramos y diseñamos soluciones a fin de maximizar el valor de los activos para nuestros clientes

3.5.4. Pilares estratégicos

- Proceso de adquisición empresarial
- Escuchar y responder
- Mínimos de calidad de servicio
- Proceso de adquisición de tecnología
- Mejora continua

3.5.5. Perforación

Línea de servicios encargada de la perforación de pozos petroleros mediante herramientas de alta tecnología, capaces de medir y registrar condiciones operativas para decisiones acertadas durante las operaciones.

3.5.6. Portafolio de servicios

En cada línea de servicios se cuenta con una amplia gama de herramientas que se adaptan a las necesidades de los clientes, la Tabla 21 ilustra las herramientas de perforación objeto de estudio en la presente investigación.

Tabla 21.

Herramientas de perforación a estudiar

| Nombre de la herramienta | Descripción |
|---------------------------------|--|
| Inserto de presión | Herramienta para la medición de presión interna y anular durante la perforación. |
| Inserto procesador | Procesador de información emitida por las demás las herramientas (computador). |
| Inserto gamma | Medidor de rayos Gamma en la formación |
| Probeta telemetría | Sensor encargado de transcribir los pulsos emitidos por el Pulser para enviarlos a superficie. |
| Probeta direccional | Sensor direccional encargado de informar la trayectoria desarrollada durante la perforación. |
| Probeta gamma | Sensor encargado de medir rayos gama en la formación. |
| Telemetría | Herramienta de telemetría encargada de transmitir la información registrada por los demás sensores a superficie mediante diferenciales de presión positivos. |
| Resistividad 1 | Herramienta utilizada para la medición de la resistividad en la información, útil para la |

| Nombre de la herramienta | Descripción |
|--------------------------|--|
| | identificación de zonas prospectivas de hidrocarburos. |
| Resistividad 2 | Estima la densidad de la formación perforada a través de la emisión de Cesio 137, y a su vez registra coordenadas de la perforación. |
| Resistividad 3 | Herramienta para estimar la porosidad de la formación mediante detectores de helio. |

Nota. La tabla describe el principal funcionamiento de las herramientas a estudiar durante la presente investigación.

4. RESULTADOS

En esta sección se ilustran los resultados obtenidos para dar cumplimiento a los objetivos de la presente investigación. Se parte de un diagnóstico de los procesos de mantenimiento de las herramientas de perforación y la identificación de oportunidades de mejora en las áreas para un posterior diseño de implementación de herramientas Lean Manufacturing. Seguido a esto se realizará una evaluación de la distribución actual de la planta de mantenimiento mediante la metodología SLP (Systematic Layout Planning), y un diseño de planta sugerido teniendo en cuenta las necesidades operativas. Finalmente fue realizada la selección de indicadores de desempeño que permitan mayor trazabilidad a las operaciones de mantenimiento, con su respectiva hoja técnica y las directrices para su implementación.

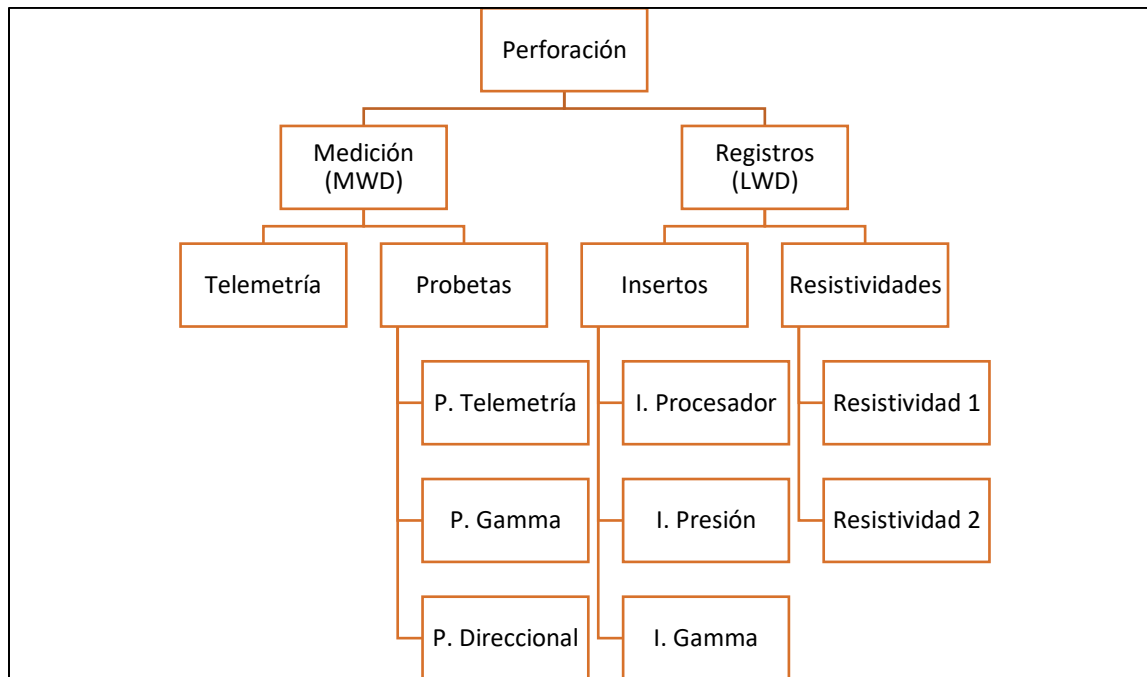
4.1. Diagnóstico de los procesos de mantenimiento

A continuación, se muestra el acompañamiento a los procesos de mantenimiento de las herramientas de perforación en la empresa en estudio, partiendo de una caracterización general de los mantenimientos de las herramientas, los cuales serán descritos más adelante. Posteriormente, serán identificadas las oportunidades de mejora mediante diagramas de Ishikawa y la identificación de desperdicios Lean en las áreas de mantenimiento.

El área de perforación puede subdividirse en áreas de medición y registro de parámetros y propiedades como presión, temperatura, radioactividad, entre otros. Para el presente proyecto serán manejadas las siguientes áreas, con sus respectivas herramientas:

Figura 7.

Clasificación de las herramientas



Nota. La figura muestra la clasificación de las herramientas de perforación a estudiar en la presente investigación

4.1.1. Caracterización de los procesos

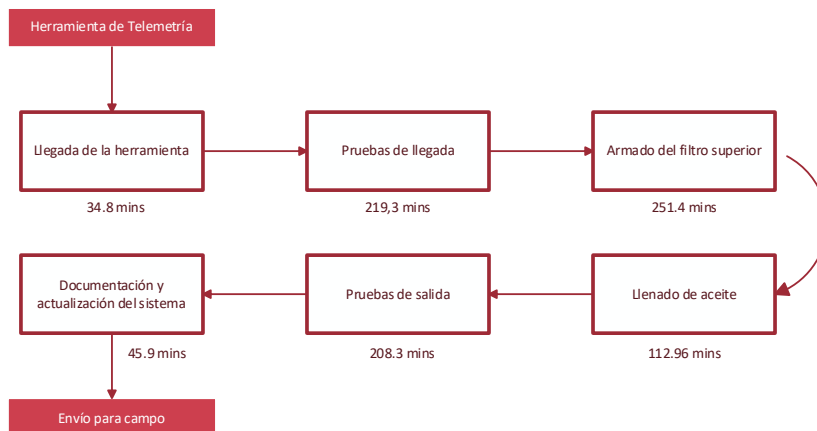
La caracterización de los procesos para cada herramienta fue desarrollada mediante la estandarización de tiempos, utilizando la calificación Westinghouse, y cuatro muestras iniciales para determinar el número de observaciones por criterio estadístico, empleando la distribución T de Student, y la asignación de suplementos de fatiga, destacando que para las herramientas en estudio el mantenimiento fue desarrollado por hombres en su totalidad y las calificaciones y suplementos discutidas con el Mánager del taller y sus respectivos supervisores, para las cuáles será destacado que es personal con más de 5 años de experiencia. Para determinar el número de observaciones estadísticamente se partió de 4 ciclos, obteniéndose resultados entre rangos de 1-4 (en contadas ocasiones 5), razón por la cual se tomaron 8 muestras para la estandarización de los procesos. La

esquematación de los mantenimientos fue desarrollada mediante diagramas de bloques con el fin de comprender las generalidades de los procesos y mapas de cadena de valor, que funciona bajo un sistema Pull, el proceso inicia cuando existe una demanda real de las herramientas (bien sea para ser enviadas a Campo por petición del cliente o por reparaciones de otros países), posteriormente son ejecutados los procesos mostrados en las siguientes figura y finaliza con la actualización del estado de la herramienta a disponible, donde se continúa con el envío de la misma a pozo o a su país de origen.

4.1.1.a. Herramienta de telemetría. Es la herramienta encargada de comunicar la información registrada en pozo a superficie a través de pulsaciones recibidas en el fluido de perforación el fluido de perforación, las cuales son convertidas en señales análogas que posteriormente son procesadas para su análisis.

Figura 8.

Diagrama de bloques mantenimiento herramienta de telemetría



Nota. La figura ilustra el diagrama de bloques para el mantenimiento de la herramienta de telemetría

Un nivel de mantenimiento de esta herramienta se puede observar en la Figura, en la cual se observan los tiempos estándar por proceso. Así mismo, las tablas 1 a 3 muestran los datos recolectados para la estandarización de los mismos, donde se resalta que el

proceso es llevado a cabo por un técnico hombre, y en su totalidad es ejecutado en el laboratorio dispuesto para la misma.

Para la estandarización de tiempos fueron realizadas ocho observaciones, como suplementos adicionales a los denominados constantes fueron asignados el trabajo con precisión y la atención, ya que la herramienta está compuesta por partes pequeñas que deben ser ensambladas durante el proceso. Las calificaciones del trabajador fueron asignadas de acuerdo a su experiencia y desempeño en la compañía y durante el acompañamiento, discutiendo la misma con su respectivo supervisor. Dicha información puede apreciarse en las tablas 22, 23 y 24, dando como tiempo estándar para el mantenimiento de esta herramienta 14,27 horas

Tabla 22.

Estandarización de tiempos mantenimiento herramienta de telemetría

| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|----------|-------|-------|------------|-------------|--------------------|-------------------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|---------------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 15,6 | 15,3 | 17,2 | 14,6 | 14,4 | 15,4 | 14,2 | 16 | 1,10 | 15,68 | 3 | 122,7 | 8 | 15,34 | 22,98 | 0,38 | | | | | | | | | | |
| | Entrega en el laboratorio | 9,8 | 8,6 | 10 | 9,5 | 9,8 | 8 | 9,1 | 8,4 | 0,62 | 9,48 | 3 | 73,2 | 8 | 9,15 | 13,71 | 0,23 | | | | | | | | | | |
| Pruebas de llegada | Armado en la máquina de prueba | 26 | 24 | 26,8 | 26 | 25,3 | 24,6 | 27,2 | 26,8 | 1,19 | 25,70 | 2 | 206,7 | 8 | 25,84 | 38,72 | 0,65 | | | | | | | | | | |
| | Prueba a 1000 Lbf | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0,00 | 90,00 | 0 | 720 | 8 | 90,00 | 134,87 | 2,25 | | | | | | | | | | |
| | Desarmado de la máquina | 18 | 19,5 | 22 | 19 | 21 | 20 | 21,2 | 20 | 1,70 | 19,63 | 4 | 160,7 | 8 | 20,09 | 30,10 | 0,50 | | | | | | | | | | |
| | Muestreo de aceite | 13 | 12 | 12,5 | 11,8 | 13 | 13 | 12,5 | 13 | 0,54 | 12,33 | 2 | 100,8 | 8 | 12,60 | 18,88 | 0,31 | | | | | | | | | | |
| Armado del filtro superior | Desarme del filtro | 55 | 62 | 66 | 58 | 61 | 57 | 66 | 70 | 4,79 | 60,25 | 4 | 495 | 8 | 61,88 | 92,73 | 1,55 | | | | | | | | | | |
| | Limpieza de partes | 45 | 43 | 40 | 48 | 45 | 42 | 47 | 49 | 3,37 | 44,00 | 4 | 359 | 8 | 44,88 | 67,25 | 1,12 | | | | | | | | | | |
| | Inspección de partes | 35 | 33 | 37 | 38 | 35 | 39 | 33 | 37 | 2,22 | 35,75 | 3 | 287 | 8 | 35,88 | 53,76 | 0,90 | | | | | | | | | | |
| | Armado de filtro superior | 25 | 23 | 26 | 24 | 25 | 27 | 25 | 26 | 1,29 | 24,50 | 2 | 201 | 8 | 25,13 | 37,65 | 0,63 | | | | | | | | | | |
| Llenado de aceite | Preparación de la herramienta | 6,5 | 6,7 | 6 | 6,2 | 6 | 6,3 | 7 | 6,7 | 0,31 | 6,35 | 2 | 51,4 | 8 | 6,43 | 9,63 | 0,16 | | | | | | | | | | |
| | Conexión con la máquina | 15 | 14,5 | 15 | 13 | 17 | 15 | 14 | 16 | 0,95 | 14,38 | 3 | 119,5 | 8 | 14,94 | 22,39 | 0,37 | | | | | | | | | | |
| | Refill de aceite | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 0,00 | 45,00 | 0 | 360 | 8 | 45,00 | 67,44 | 1,12 | | | | | | | | | | |
| | Desconexión de la máquina | 10 | 9,5 | 11 | 10 | 9 | 12 | 10 | 11 | 0,63 | 10,13 | 3 | 82,5 | 8 | 10,31 | 15,45 | 0,26 | | | | | | | | | | |
| Prueba de salida | Armado en la máquina de prueba | 18 | 20 | 22 | 19 | 23 | 20 | 18 | 22 | 1,71 | 19,75 | 4 | 162 | 8 | 20,25 | 30,35 | 0,51 | | | | | | | | | | |
| | Prueba a 1000 Lbf | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0,00 | 90,00 | 0 | 720 | 8 | 90,00 | 134,87 | 2,25 | | | | | | | | | | |
| | Desarmado de la máquina | 28 | 29 | 32 | 27 | 31 | 30 | 29 | 27 | 2,16 | 29,00 | 4 | 233 | 8 | 29,13 | 43,65 | 0,73 | | | | | | | | | | |
| Documentos y sistema | Limpieza de la herramienta | 7 | 6,5 | 7,5 | 7,2 | 7 | 6 | 8 | 7 | 0,42 | 7,05 | 3 | 56,2 | 8 | 7,03 | 10,53 | 0,18 | | | | | | | | | | |
| | Etiquetado | 5,4 | 6 | 6,2 | 6,4 | 5 | 7 | 3 | 4 | 0,43 | 6,00 | 3 | 43 | 8 | 5,38 | 8,05 | 0,13 | | | | | | | | | | |
| | Actualización en sistema | 18 | 20 | 22 | 19 | 21 | 18 | 17 | 19 | 1,71 | 19,75 | 4 | 154 | 8 | 19,25 | 28,85 | 0,48 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 575,3 | 577,6 | 604,2 | 581,7 | 593,5 | 585,3 | 586,2 | 603,9 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | 588,46 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,27 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TN | 747,35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,18 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TS (Min) | 881,87 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 14,70 |

Nota. La tabla ilustra los tiempos observados y la estandarización de los tiempos de mantenimiento de la probeta de telemetr

Tabla 23.

Calificación mantenimiento herramienta de telemetría

| Calificaciones | | |
|-----------------|--------------|-------|
| Aspecto | Calificación | Valor |
| Esfuerzo | C1 | 0,05 |
| Destreza | A1 | 0,15 |
| Consistencia | C | 0,01 |
| Condiciones | A | 0,06 |
| FACTOR C | | 0,27 |

Nota. La tabla describe la calificación asignada al técnico mediante la metodología Westinghouse

Tabla 24.

Asignación de suplementos mantenimiento herramienta de telemetría

| SUPLEMENTOS | |
|------------------------|-----|
| Necesidades Personales | 5% |
| Suplemento base | 4% |
| Trabajo con precisión | 2% |
| Ruidos | 2% |
| Atención | 4% |
| Monótono | 1% |
| SUMA | 18% |

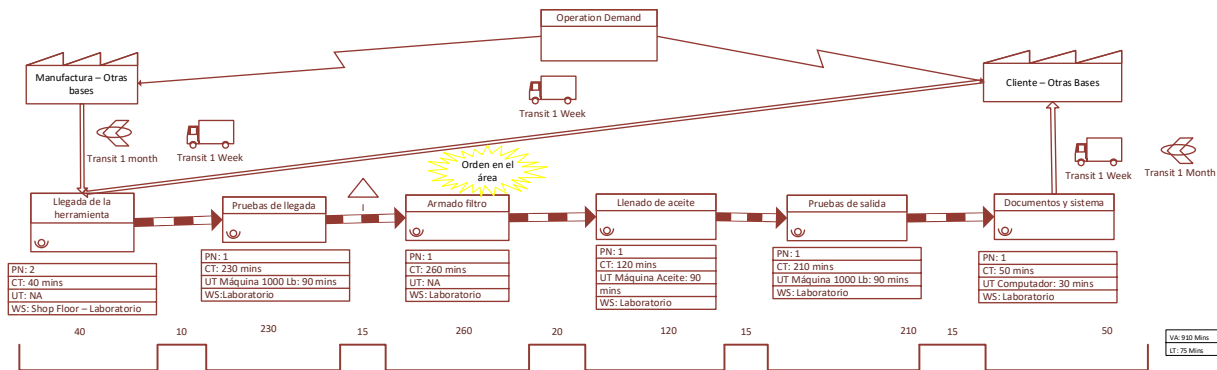
Nota. La tabla muestra los suplementos de fatiga asignados al técnico en el proceso de mantenimiento, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo observadas.

Adicionalmente fue desarrollado un VSM del proceso de mantenimiento, a partir del cual se pudo establecer un tiempo de valor agregado de 910 minutos (aproximadamente 15.2 horas) y un Lead time del proceso de 75 minutos. El estallido Kaizen observado durante el acompañamiento fue asociado al orden del área de trabajo, donde se observaban herramientas de mano dispersas en la mesa de trabajo, tomándole más tiempo al técnico

localizarlas, generando demoras innecesarias durante el proceso. Dicho diagrama puede observarse para más detalles en la Figura 9.

Figura 9.

VSM Mantenimiento herramienta telemetría

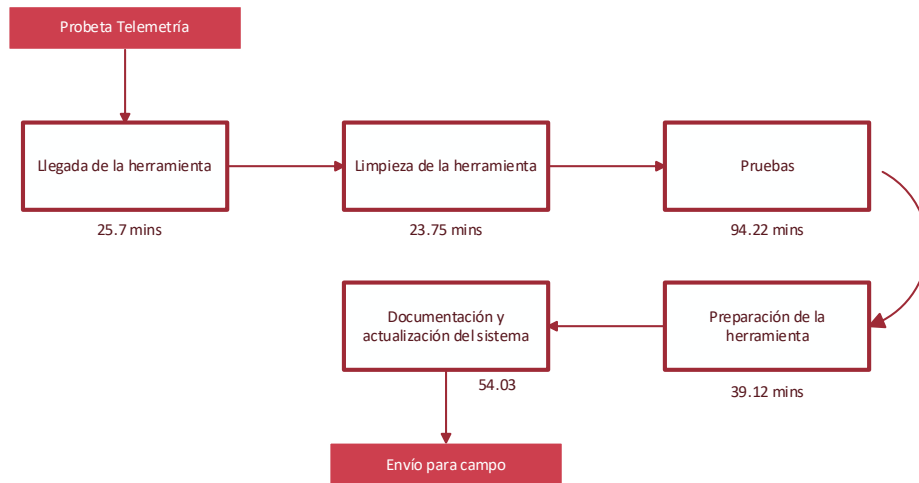


Nota. La figura ilustra el mapa de la cadena de valor del mantenimiento de la probeta de telemetría.

4.1.1.b. Probeta de telemetría. Esta probeta o sonda va conectada con la herramienta de telemetría descrita anteriormente, y es la encargada de convertir las pulsaciones emitidas en señales análogas que son enviadas a superficie, registrando presión, temperatura e inclinación. La figura 10 muestra el diagrama de bloques del mantenimiento de esta herramienta:

Figura 10.

Diagrama de bloques mantenimiento probeta de telemetría



Nota. La figura ilustra el mantenimiento general de una probeta de telemetría.

Tal como lo ilustra la Figura 10, el mantenimiento consta de operaciones básicas, que consisten en limpieza, pruebas y cambios de consumibles (principalmente sellos). Asociado a la estandarización de tiempos fueron tomadas inicialmente 4 muestras para la determinación del número de ciclos a observar por criterio estadístico, el cual dio un resultado máximo de 4 tomas adicionales, las cuales se ilustran en la Tabla 25. Las calificaciones del técnico fueron evaluadas con su supervisor teniendo en cuenta el desempeño de sus operaciones (Tabla 26). Adicionalmente fueron asignados suplementos de fatiga variables asociados al trabajo de pie y al levantamiento de cargas superiores a 5Kg, ya que cada probeta tiene un peso estimado de 6.5 Kg, como se observa en la Tabla 27. El tiempo estándar obtenido para el mantenimiento de esta probeta fue de 4,02 horas

Tabla 25.

Estandarización de tiempos mantenimiento probeta de telemetría

| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----------|----------|---|---------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 15 | 16 | 15,3 | 14,7 | 14,7 | 16 | 16,2 | 14 | 0,56 | 15,25 | 2 | 121,9 | 8 | 15,24 | 18,92 | 0,32 |
| | Entrega en el laboratorio | 7 | 5,7 | 6,1 | 6,7 | 7 | 8 | 6 | 7 | 0,59 | 6,38 | 4 | 53,5 | 8 | 6,69 | 8,31 | 0,14 |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 12 | 11,5 | 10,9 | 12 | 11 | 10 | 10,8 | 12,3 | 0,52 | 11,60 | 2 | 90,5 | 8 | 11,31 | 14,05 | 0,23 |
| | Limpieza de conectores | 9,7 | 8,6 | 10,01 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 8,7 | 0,64 | 9,33 | 3 | 76,51 | 8 | 9,56 | 11,88 | 0,20 |
| Pruebas de la herramienta | Pruebas de extracción | 12 | 12,5 | 13 | 11,95 | 12,3 | 13 | 11,9 | 13 | 0,49 | 12,36 | 2 | 99,65 | 8 | 12,46 | 15,47 | 0,26 |
| | Conexión al computador | 10,5 | 9,3 | 11 | 9,6 | 11,8 | 9,8 | 10,3 | 11 | 0,79 | 10,10 | 4 | 83,3 | 8 | 10,41 | 12,93 | 0,22 |
| | Prueba A | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,00 | 20,00 | 0 | 160 | 8 | 20,00 | 24,84 | 0,41 |
| | Lectura | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0,00 | 15,00 | 0 | 120 | 8 | 15,00 | 18,63 | 0,31 |
| | Desconectar la herramienta | 17,6 | 18,3 | 19 | 21,2 | 19 | 22 | 18,9 | 19 | 1,56 | 19,03 | 4 | 155 | 8 | 19,38 | 24,06 | 0,40 |
| Preparación de la herramienta | Sellos | 20 | 22,3 | 21 | 20,5 | 20,8 | 21 | 22,3 | 19,8 | 0,99 | 20,95 | 2 | 167,7 | 8 | 20,96 | 26,04 | 0,43 |
| | Tapas | 12 | 10,8 | 11,5 | 11 | 12,1 | 11,6 | 10,9 | 11,7 | 0,54 | 11,33 | 2 | 91,6 | 8 | 11,45 | 14,22 | 0,24 |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 5,7 | 6,2 | 5,5 | 6,4 | 6 | 5,8 | 6,7 | 5,4 | 0,42 | 5,95 | 3 | 47,7 | 8 | 5,96 | 7,41 | 0,12 |
| | Actualización en sistema | 33,4 | 35 | 36,2 | 36,5 | 37 | 35,6 | 34,4 | 37,1 | 1,41 | 35,28 | 2 | 285,2 | 8 | 35,65 | 44,28 | 0,74 |
| | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | | 194,07 | | |
| | | | | | | | | | | | | | RF | | 1,08 | | |
| | | | | | | | | | | | | | TN | | 209,60 | | |
| | | | | | | | | | | | | | SF | | 0,15 | | |
| | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | | 241,03 | | |
| | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | | 4.02 | | |

Nota. La tabla muestra la toma de los 8 ciclos para el mantenimiento de la probeta de telemetría.

Tabla 26.

Calificaciones mantenimiento probeta de telemetría

| Calificaciones | | |
|-----------------------|---------------------|--------------|
| Aspecto | Calificación | Valor |
| Esfuerzo | B2 | 0,08 |
| Destreza | C2 | 0,03 |
| Consistencia | D | 0 |
| Condiciones | E | -0,03 |
| FACTOR C | | 0,08 |

Nota. Calificaciones del desempeño del técnico en el mantenimiento de la probeta de telemetría.

Tabla 27.

Asignación de suplementos mantenimiento probeta de telemetría

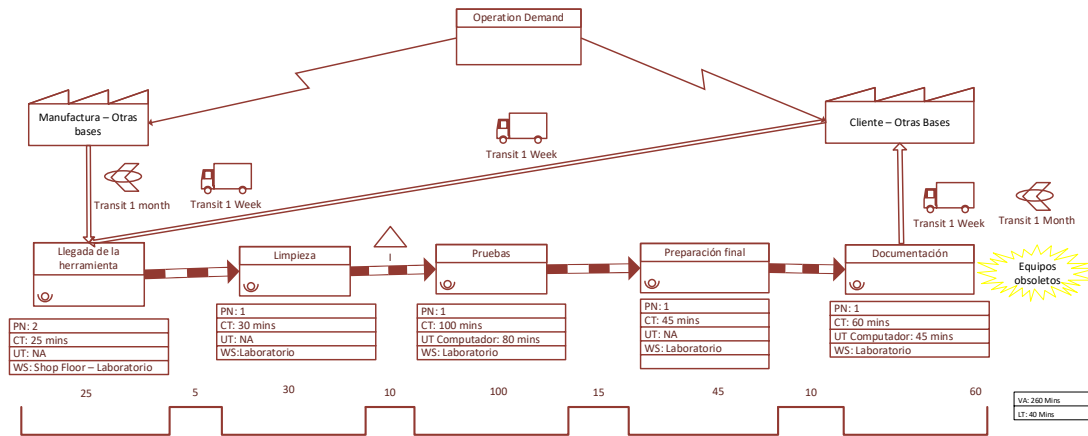
| SUPLEMENTOS | |
|------------------------|-----|
| Necesidades Personales | 5% |
| Suplemento base | 4% |
| Trabajo de pie | 2% |
| Ruidos | 2% |
| Levantar pesos 5 Kg | 1% |
| Monótono | 1% |
| SUMA | 15% |

Nota. Suplementos de fatiga variables asignados para la estandarización de tiempos.

El desarrollo del VSM se puede observar en la Figura 11, este diagrama permitió determinar un lead time y un tiempo de valor agregado de 40 y 260 minutos respectivamente. En esta área se observó el mal estado de un equipo básico para el técnico como es el computador, el cual en repetidas ocasiones presentaba fallas generando esperas innecesarias en el proceso.

Figura 11.

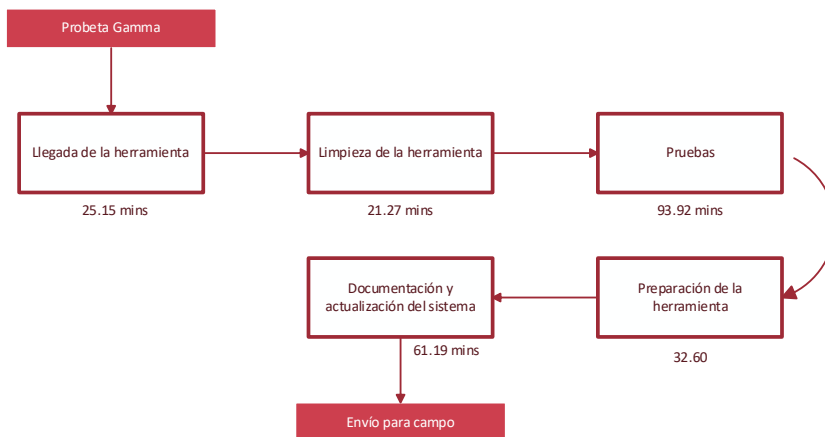
VSM Mantenimiento probeta de Telemetría



Nota. La figura muestra el VSM para la probeta de telemetría

4.1.1.c. Probeta de Gamma. El objetivo principal de la probeta es medir la radioactividad de la formación, con el fin de identificar áreas prospectivas para la producción de hidrocarburos. El mantenimiento es similar a la probeta de telemetría, consistiendo en limpiezas y pruebas básicas de funcionamiento. Su mantenimiento se ilustra en la Figura 12.

Figura 12. Diagrama de bloques mantenimiento probeta de Gamma



Nota. La figura ilustra el mantenimiento de la probeta de Gamma

Puede observarse que su mantenimiento es similar al desarrollado para la probeta de telemetría, donde la limpieza, las pruebas y la documentación son los procesos principales. Fueron tomadas en total ocho muestras para la estandarización de los tiempos, al ser todas las probetas trabajadas por el mismo técnico fueron asignados las mismas calificaciones y suplementos de fatiga (Tablas 26 y 27). El tiempo estándar fue determinado con la información ilustrada en la Tabla 28, obteniendo un total de 3,92 horas.

Tabla 28.

Estandarización de tiempos para el mantenimiento de una probeta de Gamma

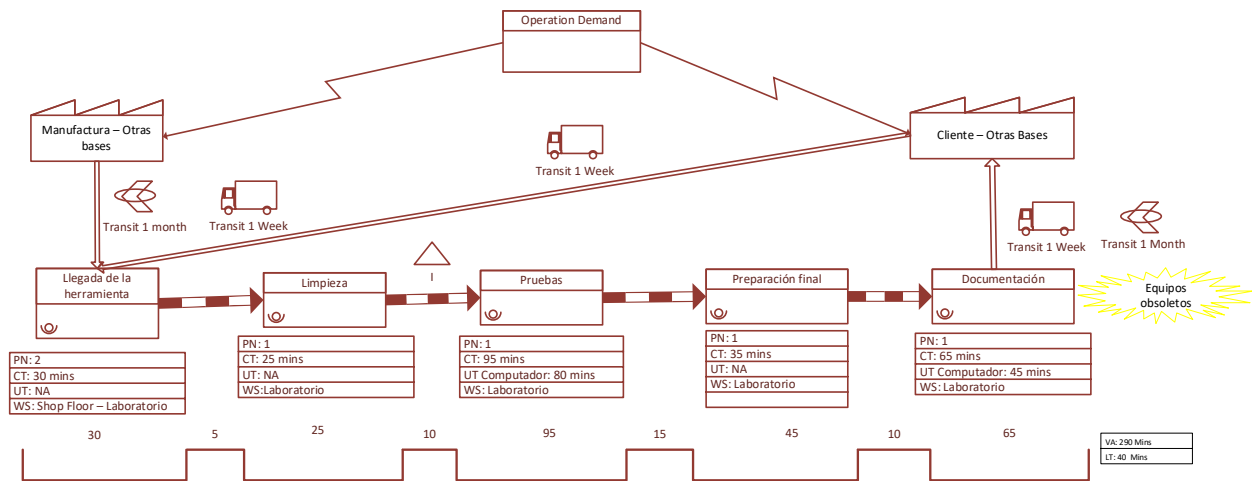
| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------|----------|---|-------|----------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 15,4 | 15,4 | 16 | 16,8 | 15,3 | 16,7 | 17,2 | 15 | 0,66 | 15,90 | 2 | 127,8 | 8 | 15,98 | 19,84 | 0,33 |
| | Entrega en el laboratorio | 5,5 | 6,1 | 5,8 | 6,2 | 7 | 5,7 | 6 | 5,9 | 0,32 | 5,90 | 3 | 48,2 | 8 | 6,03 | 7,48 | 0,12 |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 10,1 | 10,3 | 11 | 12,2 | 10,7 | 11 | 12 | 10,1 | 0,95 | 10,90 | 4 | 87,4 | 8 | 10,93 | 13,57 | 0,23 |
| | Limpieza de conectores | 5,4 | 6,7 | 5,9 | 6,1 | 7,01 | 5,8 | 6,7 | 7 | 0,54 | 6,03 | 4 | 50,61 | 8 | 6,33 | 7,86 | 0,13 |
| Pruebas de la herramienta | Pruebas de extracción | 12,01 | 11,8 | 12,5 | 11 | 10,9 | 11 | 14 | 14 | 0,62 | 11,83 | 2 | 97,21 | 8 | 12,15 | 15,09 | 0,25 |
| | Conexión al computador | 10,2 | 9,9 | 9,05 | 11 | 9,8 | 10,6 | 11,5 | 9,4 | 0,81 | 10,04 | 4 | 81,45 | 8 | 10,18 | 12,65 | 0,21 |
| | Prueba A | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,00 | 20,00 | 0 | 160 | 8 | 20,00 | 24,84 | 0,41 |
| | Lectura | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0,00 | 15,00 | 0 | 120 | 8 | 15,00 | 18,63 | 0,31 |
| Preparación de la herramienta | Desconectar la herramienta | 15,6 | 14,5 | 16,8 | 16 | 17,1 | 17 | 16 | 20 | 0,96 | 15,73 | 3 | 133 | 8 | 16,63 | 20,65 | 0,34 |
| | Sellos | 18 | 19 | 16 | 17 | 15 | 18 | 15 | 16 | 1,29 | 17,50 | 3 | 134 | 8 | 16,75 | 20,80 | 0,35 |
| Documentos y sistema | Tapas | 9,8 | 9 | 10,1 | 9,6 | 9,5 | 10,5 | 9,1 | 9,6 | 0,46 | 9,63 | 2 | 77,2 | 8 | 9,65 | 11,99 | 0,20 |
| | Etiquetado | 5,4 | 5,02 | 5 | 6,1 | 6 | 5,7 | 6,2 | 5,9 | 0,51 | 5,38 | 4 | 45,32 | 8 | 5,67 | 7,04 | 0,12 |
| | Actualización en sistema | 45 | 40 | 43 | 42 | 45 | 47 | 46 | 45 | 2,08 | 42,50 | 2 | 353 | 8 | 44,13 | 54,80 | 0,91 |
| | | 187,41 | 183 | 186 | 189 | 188 | 194 | 195 | 193 | | | | | T. Cronómetro | 189,40 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TN | 204,55 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,15 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | 235,23 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 3,92 | | |

Nota. La tabla ilustra los tiempos observados y la estandarización de los tiempos de mantenimiento de la probeta de Gamma

Al igual que en la probeta de telemetría, el VSM actual (Figura 13) el estallido Kaizen observado hace referencia al equipo obsoleto empleado por el técnico para los procesos de documentación en el sistema. Se obtuvo un tiempo de valor agregado y un lead time de 290 y 40 minutos.

Figura 13.

VSM Mantenimiento probeta de Gamma

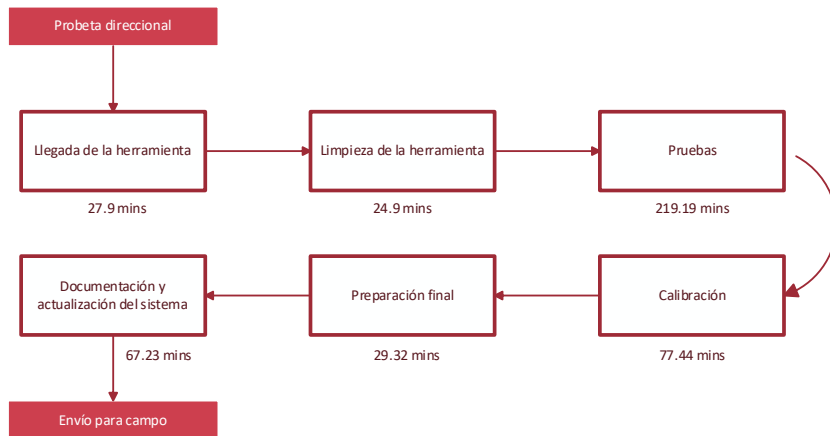


Nota: La figura ilustra el VSM para la probeta de Gamma

4.1.1.d. Probeta direccional. Esta herramienta es la encargada de indicar la inclinación y dirección de la tubería de perforación a través de mediciones electromagnéticas, a diferencia de las demás probetas, adicional a la limpieza e inspección física se realiza una calibración y unas pruebas de calidad. El proceso de mantenimiento se ilustra en la Figura 14.

Figura 14.

Diagrama de bloques mantenimiento probeta direccional



Nota. El diagrama ilustra el proceso de mantenimiento para una probeta direccional.

Del diagrama se puede observar que el mantenimiento consta de los mismos procesos de las anteriores probetas (limpieza y pruebas), adicionándole una etapa de calibración. Las tablas 26 y 27 seguirán haciendo referencia a la calificación y asignación de suplementos para el técnico al ser realizados por el mismo técnico, y la Tabla 29 ilustra la estimación del tiempo estándar para esta herramienta, el cuál es de 7, 49 horas.

Tabla 29.

Estandarización de tiempos para el mantenimiento de una probeta direccional

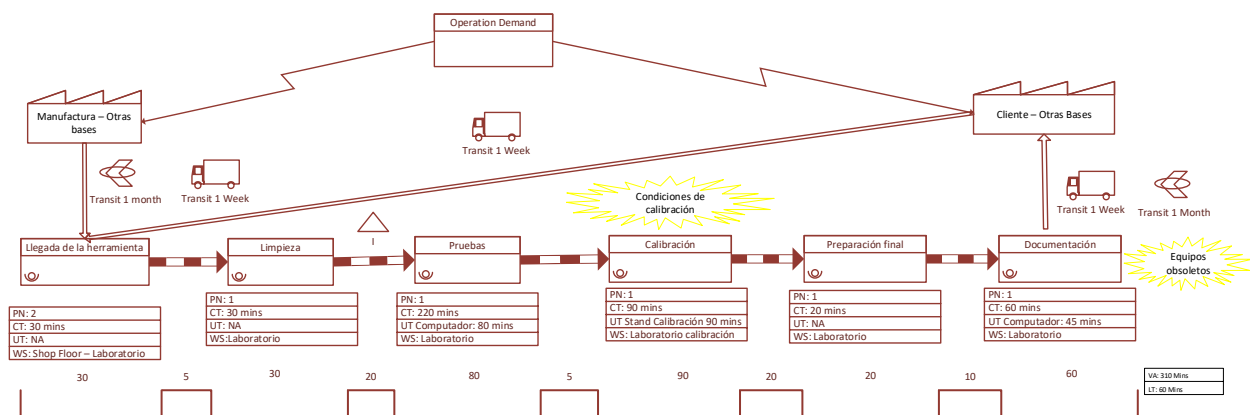
| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------|------|-----|------|------|-----|-----|------------|----------|---|------|----------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 15 | 16 | 18 | 15 | 17 | 16 | 18 | 15 | 1,41 | 16,00 | 4 | 130 | 8 | 16,25 | 21,06 | 0,35 |
| | Entrega en el laboratorio | 5 | 5,3 | 4,5 | 4,8 | 5,1 | 4,2 | 5,1 | 5 | 0,34 | 4,90 | 3 | 39 | 8 | 4,875 | 6,32 | 0,11 |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 14,3 | 15,1 | 15,5 | 16 | 14,8 | 15,3 | 16 | 15 | 0,72 | 15,23 | 2 | 122 | 8 | 15,25 | 19,76 | 0,33 |
| | Limpieza de conectores | 6 | 6,5 | 5 | 6 | 7,1 | 6 | 5 | 7 | 0,63 | 5,88 | 5 | 48,6 | 8 | 6,075 | 7,87 | 0,13 |
| Pruebas de la herramienta | Pruebas de extracción | 15 | 14 | 13 | 15 | 16 | 15 | 13 | 14 | 0,96 | 14,25 | 3 | 115 | 8 | 14,375 | 18,63 | 0,31 |
| | Conexión al computador | 21 | 20 | 22 | 23 | 22,5 | 21 | 22 | 20 | 1,29 | 21,50 | 3 | 19 | 8 | 2,375 | 3,08 | 0,05 |
| | Prueba QA | 155 | 150 | 145 | 160 | 155 | 153 | 149 | 152 | 6,45 | 152,50 | 2 | 1219 | 8 | 152,375 | 197,48 | 3,29 |
| Calibración de la herramienta | Stand A | 33 | 35 | 32 | 37 | 30 | 34 | 32 | 31 | 2,22 | 34,25 | 3 | 264 | 8 | 33 | 42,77 | 0,71 |
| | Stand B | 27 | 25 | 26 | 28 | 24 | 28 | 27 | 29 | 1,29 | 26,50 | 2 | 214 | 8 | 26,75 | 34,67 | 0,58 |
| Preparación de la herramienta | Sellos | 16 | 17 | 15 | 16 | 14 | 15 | 17 | 14 | 0,82 | 16,00 | 2 | 124 | 8 | 15,5 | 20,09 | 0,33 |
| | Tapas | 7 | 6,9 | 8 | 7,5 | 7 | 8 | 8,9 | 7 | 0,51 | 7,35 | 3 | 60,3 | 8 | 7,5375 | 9,77 | 0,16 |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 6,5 | 7,2 | 7 | 6,5 | 7,4 | 8 | 6 | 7 | 0,36 | 6,80 | 2 | 55,6 | 8 | 6,95 | 9,01 | 0,15 |
| | Actualización en sistema | 43 | 45 | 50 | 44 | 47 | 45 | 46 | 47 | 3,11 | 45,50 | 3 | 367 | 8 | 45,875 | 59,45 | 0,99 |
| | | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | 347,1875 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TN | 374,9625 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,2 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Min) | 449,955 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Hr) | 7,49925 | | |

Nota. La tabla ilustra el número de ciclos observados para la estandarización de tiempos de mantenimiento de una probeta direccional.

El VSM para esta herramienta puede observarse en la Figura 15, teniendo un tiempo de valor agregado de 330 y un lead time de 60 minutos. Adicional al computador en condiciones no operativas mencionado anteriormente, se presenta un estallido Kaizen asociado a las condiciones de calibración, donde el técnico debe esperar a que en el taller no se realicen movimientos del puente grúa y en la parte exterior no transiten carros pesados, pues estos sonidos, movimientos y vibraciones afectan el proceso.

Figura 15.

VSM mantenimiento probeta direccional

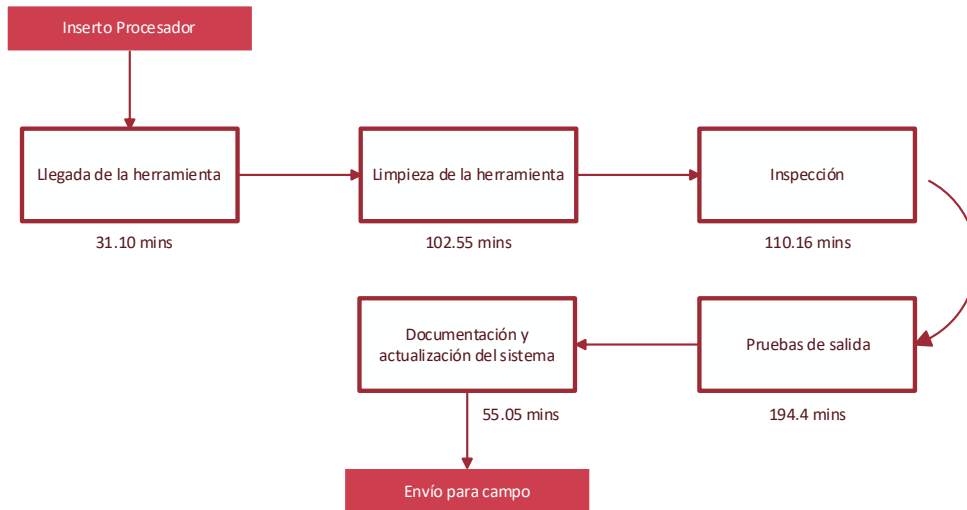


Nota. La tabla ilustra el VSM del mantenimiento de la probeta direccional

4.1.1.d. Inserto procesador. Este inserto es considerado el computador de la herramienta, cuenta con tarjetas que le permiten recibir y procesar la información transmitida por las demás herramientas durante la perforación. Una esquematización de su mantenimiento puede observarse en la Figura 16:

Figura 16.

Diagrama de bloques mantenimiento inserto procesador



Nota. La figura muestra las etapas principales para el mantenimiento del inserto procesador

Tal y como lo ilustra la figura, consiste en la inspección física de su cuerpo y conectores, el cambio de cintas y consumibles como sellos y bandas, el ajuste de los tornillos donde se almacenan las tarjetas procesadoras y el formateo y pruebas de las mismas. Dentro de los procesos descritos es importante destacar que el proceso de formateo y prueba de las tarjetas es realizado a través de un programa especial, y cuenta con un tiempo definido de 30 y 120 minutos respectivamente. Los tiempos estándar para el mantenimiento de esta herramienta pueden observarse en la Tabla 30, con un tiempo estándar de 8.24 horas, asociado a la calificación del trabajador, se destaca que es una persona con gran experiencia y destreza en el desarrollo de sus funciones, pero se evidencian varias paradas durante el proceso no justificadas (Tabla 31), como suplementos de fatiga fueron asignados levantamiento de pesos superiores a 5Kg, ya que el peso de los insertos oscila entre 6-9 Kg dependiendo de su diámetro, trabajo de pie en los procesos de pruebas y limpieza, y precisión en los procesos de aseguramiento de tornillos y tarjetas (Tabla 32). Estos suplementos y calificaciones serán aplicados

para todos los mantenimientos de los insertos, ya que sus condiciones de mantenimiento son similares y son desarrolladas por el mismo personal

Tabla 30.

Estandarización de tiempos para el mantenimiento de un inserto procesador

| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|----------|----|-----|------------|----------------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 20 | 18 | 16 | 18 | 17 | 16 | 15 | 15 | 1,727 | 16,875 | 5 | 135 | 8 | 16,875 | 21,87 |
| | Entrega en el laboratorio | 6 | 8 | 7 | 6 | 9 | 8 | 7 | 6 | 1,126 | 7,125 | 7 | 57 | 8 | 7,125 | 9,234 |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 45 | 50 | 47 | 48 | 45 | 51 | 47 | 50 | 2,295 | 47,875 | 2 | 383 | 8 | 47,875 | 62,046 |
| | Limpieza interna | 26 | 27 | 20 | 28 | 25 | 26 | 24 | 28 | 2,619 | 25,500 | 5 | 204 | 8 | 25,5 | 33,048 |
| | Limpieza de conectores | 5 | 4 | 6 | 5 | 7 | 8 | 5 | 6 | 1,282 | 5,750 | 10 | 46 | 8 | 5,75 | 7,452 |
| Inspección | Inspección física | 20 | 22 | 19 | 25 | 20 | 19 | 22 | 21 | 2,000 | 21,000 | 4 | 168 | 8 | 21 | 27,216 |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 18 | 20 | 22 | 23 | 19 | 21 | 22 | 20 | 1,685 | 20,625 | 4 | 165 | 8 | 20,625 | 26,73 |
| | Ajuste de tornillos | 15 | 18 | 16 | 17 | 20 | 17 | 21 | 18 | 1,982 | 17,750 | 5 | 142 | 8 | 17,75 | 23,004 |
| | Aislamiento y continuidad | 8 | 10 | 12 | 9 | 10 | 8 | 13 | 14 | 2,268 | 10,500 | 10 | 84 | 8 | 10,5 | 13,608 |
| | Pruebas de extracción | 12 | 15 | 17 | 16 | 15 | 17 | 15 | 14 | 1,642 | 15,125 | 5 | 121 | 8 | 15,125 | 19,602 |
| Pruebas de la herramienta | Formateo | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0,000 | 30,000 | 0 | 240 | 8 | 30 | 38,88 |
| | Prueba de memoria | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 0,000 | 120,000 | 0 | 960 | 8 | 120 | 155,52 |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 7 | 10 | 8 | 7 | 6 | 7 | 9 | 10 | 1,512 | 8,000 | 9 | 64 | 8 | 8 | 10,368 |
| | Actualización en sistema | 357 | 368 | 333 | 303 | 403 | 373 | 383 | 383 | 3,196 | 35,250 | 4 | 282 | 8 | 35,25 | 45,684 |
| | | | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | 381,38 |
| | | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 |
| | | | | | | | | | | | | | | | TN | 411,89 |
| | | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,20 |
| | | | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | 494,26 |
| | | | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 8,24 |

Nota. La tabla ilustra el número de ciclos observados para la estandarización de tiempos de mantenimiento de un inserto procesador

Tabla 31. Calificación para el técnico mantenimiento de inserto direccional

| Calificaciones | | |
|-----------------|--------------|-------|
| Aspecto | Calificación | Valor |
| Esfuerzo | B2 | 0,08 |
| Destreza | C2 | 0,03 |
| Consistencia | D | 0 |
| Condiciones | E | -0,03 |
| FACTOR C | | 0,08 |

Nota. Calificaciones del desempeño del técnico en el mantenimiento de la probeta de telemetría.

Tabla 32.

Suplementos de fatiga para el mantenimiento del inserto procesador

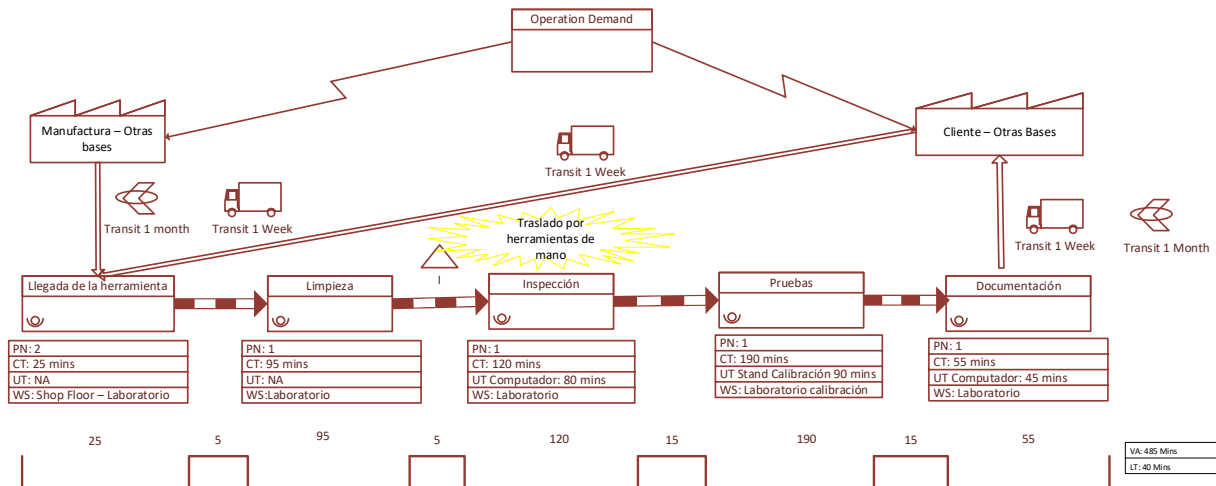
| SUPLEMENTOS | |
|------------------------|-----|
| Necesidades Personales | 5% |
| Suplemento base | 4% |
| Trabajo de pie | 2% |
| Ruidos | 2% |
| Levantar pesos 5 Kg | 1% |
| Monótono | 1% |
| Gran precisión | 5% |
| SUMA | 20% |

Nota. Calificaciones del desempeño del técnico en el mantenimiento de la probeta de telemetría.

El VSM para este inserto se encuentra en la Figura 17, en la cual como principal estallido Kaizen se encuentra el traslado a otros laboratorios por herramientas de mano para desarrollar las operaciones de mantenimiento. Tiene un tiempo de valor agregado de 485 y un lead time de 40 minutos.

Figura 17.

VSM mantenimiento inserto procesador

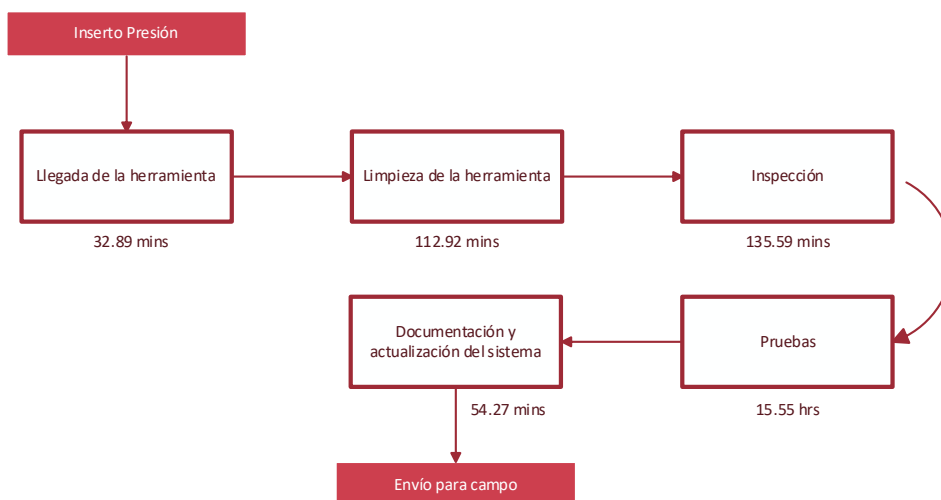


Nota: La figura muestra el VSM para el mantenimiento del inserto procesador

4.1.1.e. Inserto presión. *Este inserto es el encargado de medir la presión interna y anular durante la perforación a través de dos transductores que tiene instalados. Su mantenimiento básico consta de limpieza e inspección física de sus componentes, y cuenta con una prueba especial para dichos medidores de presión, tal y como se muestra en la Figura 18.*

Figura 18.

Diagrama de bloques mantenimiento inserto de presión



La figura muestra las etapas generales para un mantenimiento de un inserto de presión.

Dentro de los procesos descritos anteriormente, se cuenta con una prueba de presión que tiene una duración de doce horas, en la cual se prueba que los transductores estén midiendo correctamente con respecto a un patrón establecido. Para la estandarización de los tiempos de mantenimiento fueron asignados los suplementos de fatiga y calificaciones de desempeño mostradas en el mantenimiento del inserto procesador, obteniendo un tiempo estándar de 21,14 horas, los ciclos observados pueden ser observados en la Tabla 33.

Tabla 33.

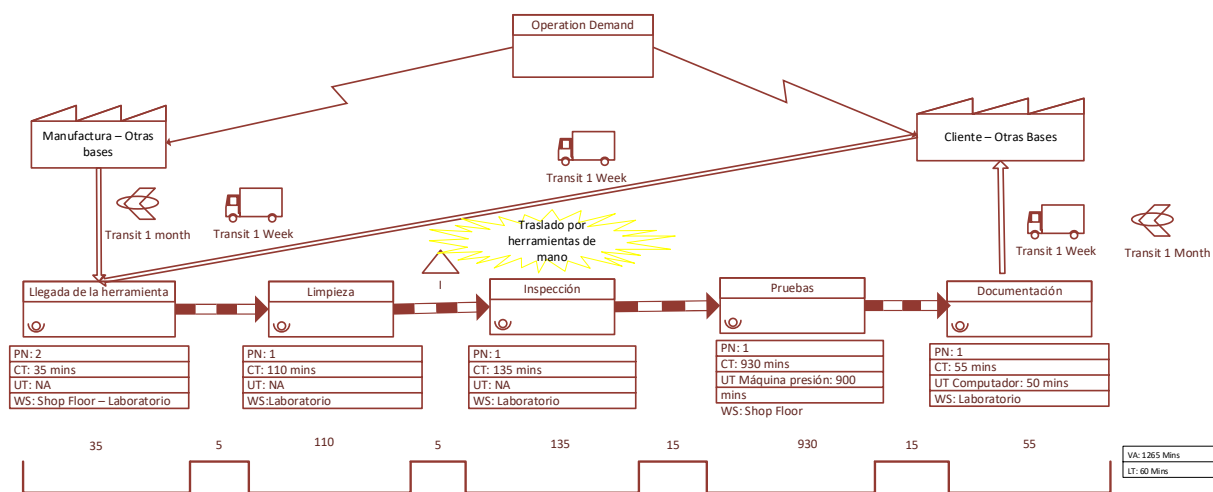
Estandarización de tiempos mantenimiento inserto de presión

| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------|-------|------|-----|------|-----|-----|-----|------------|----------|------------------|-----------|----------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 21 | 19 | 18 | 21 | 20 | 17 | 18 | 18 | 1,50 | 19,75 | 4 | 152 | 8 | 19 | 24,62 | 0,41 |
| | Entrega en el laboratorio | 7 | 6,3 | 6 | 6,8 | 8 | 7 | 5 | 8 | 0,46 | 6,53 | 3 | 54,1 | 8 | 6,7625 | 8,76 | 0,15 |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 55 | 52 | 54 | 48 | 46 | 47 | 50 | 49 | 3,10 | 52,25 | 3 | 401 | 8 | 50,125 | 64,96 | 1,08 |
| | Limpieza interna | 28 | 25,8 | 27 | 26 | 29 | 35 | 40 | 32 | 1,01 | 26,70 | 2 | 242,8 | 8 | 30,35 | 39,33 | 0,66 |
| | Limpieza de conectores | 8,5 | 9,6 | 10 | 9 | 4 | 5 | 9 | 11 | 0,66 | 9,28 | 3 | 66,1 | 8 | 8,2625 | 10,71 | 0,18 |
| Inspección | Inspección física | 37 | 36,7 | 40 | 42 | 38 | 39 | 42 | 44 | 2,52 | 39,67 | 3 | 282 | 8 | 35,25 | 45,68 | 0,76 |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 16 | 18 | 20 | 17 | 19 | 21 | 22 | 29 | 1,71 | 17,75 | 5 | 162 | 8 | 20,25 | 26,24 | 0,44 |
| | Ajuste de tornillos | 17,8 | 20 | 18 | 19 | 22 | 18 | 22 | 25 | 1,01 | 18,70 | 3 | 161,8 | 8 | 20,225 | 26,21 | 0,44 |
| | Aislamiento y continuidad | 9,5 | 11 | 11,3 | 9 | 10 | 8 | 13 | 14 | 1,12 | 10,20 | 5 | 85,8 | 8 | 10,725 | 13,90 | 0,23 |
| | Pruebas de extracción | 14,5 | 16 | 17 | 15 | 14 | 16 | 18 | 17 | 1,11 | 15,63 | 3 | 127,5 | 8 | 15,9375 | 20,66 | 0,34 |
| Pruebas de la herramienta | Prueba de presión | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 0,00 | 720,00 | 0 | 5760 | 8 | 720 | 933,12 | 15,55 |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 8 | 7,5 | 7 | 8,3 | 8 | 7 | 6 | 8 | 0,57 | 7,70 | 3 | 59,8 | 8 | 7,475 | 9,69 | 0,16 |
| | Actualización en sistema | 36 | 37 | 30 | 35 | 36,5 | 33 | 34 | 33 | 3,11 | 34,50 | 4 | 274,5 | 8 | 34,3125 | 44,47 | 0,74 |
| | | 978,3 | 942,2 | 978 | 97 | 975 | 97 | 99 | 100 | | | | | T. Cronómetro | 978,675 | | |
| | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | TN | 1056,969 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | SF | 0,2 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | 1268,3628 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 21,14 | | | | |

Nota. La tabla ilustra el número de ciclos observados para la estandarización de tiempos de mantenimiento de un inserto direccional

El VSM de esta herramienta ilustrado en la Figura 19 muestra al igual que en el anterior inserto que el traslado por herramientas de mano es uno de las principales demoras en el proceso, al ser desarrollado por el mismo técnico en el mismo laboratorio. Tiene un lead time de 40 minutos y un tiempo de valor agregado de 1265 minutos, siendo mucho mayor por requerir una prueba de presión especial.

Figura 19. VSM Mantenimiento inserto de presión

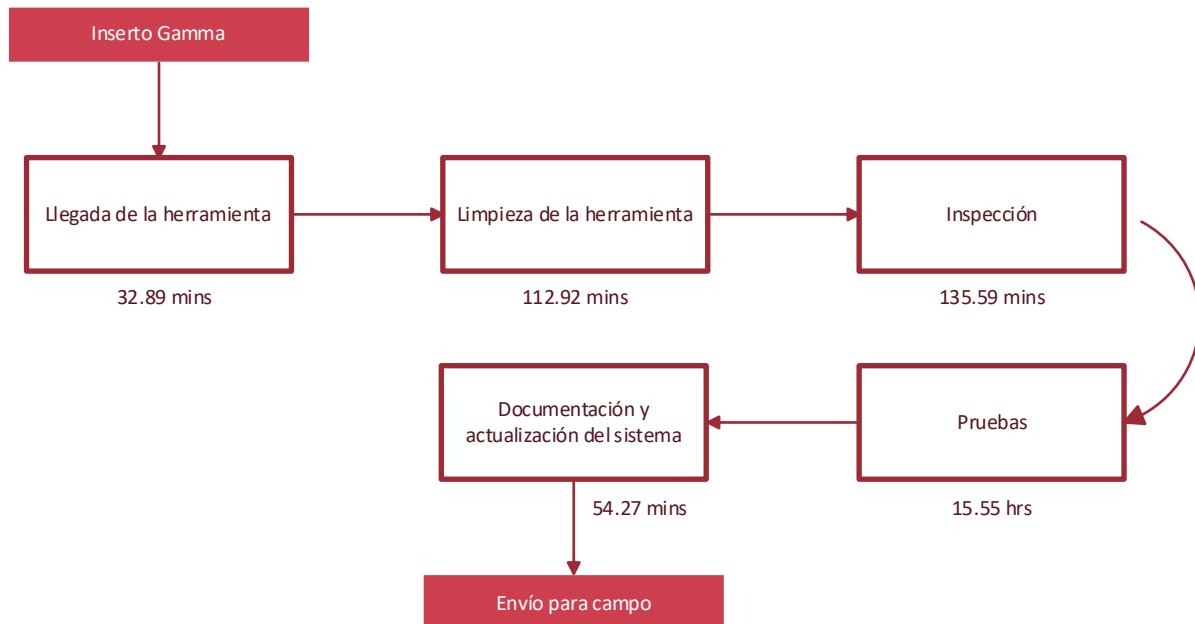


Nota: La figura muestra el VSM para el mantenimiento del inserto de presión

4.1.1.f. Inserto Gamma. *Esta herramienta mide la radioactividad de la formación a través de unos tubos gamma que tiene instalados, cuenta con tarjetas para almacenar la información recibida y enviarla al procesador. En lo referente a su mantenimiento tal como lo muestra la Figura 20, adicional a la limpieza e inspección física, se le realiza una prueba de temperatura en horno por 12 horas con el fin de evaluar su desempeño en condiciones que pueden presentarse durante la perforación.*

Figura 20.

Diagrama de bloques mantenimiento inserto gamma



Nota. La figura muestra el diagrama de bloques para el mantenimiento de un inserto gamma

Como fue mencionado anteriormente los suplementos de fatiga y las calificaciones de desempeño son las mismas para el mantenimiento de todos los insertos. Adicional a la prueba de temperatura, la operación con mayor tiempo es la limpieza del cuerpo de la herramienta (Tabla 34). El tiempo estándar para el mantenimiento de este inserto es de 21,35 horas.

Tabla 34.

Estandarización de tiempos mantenimiento de un inserto gamma

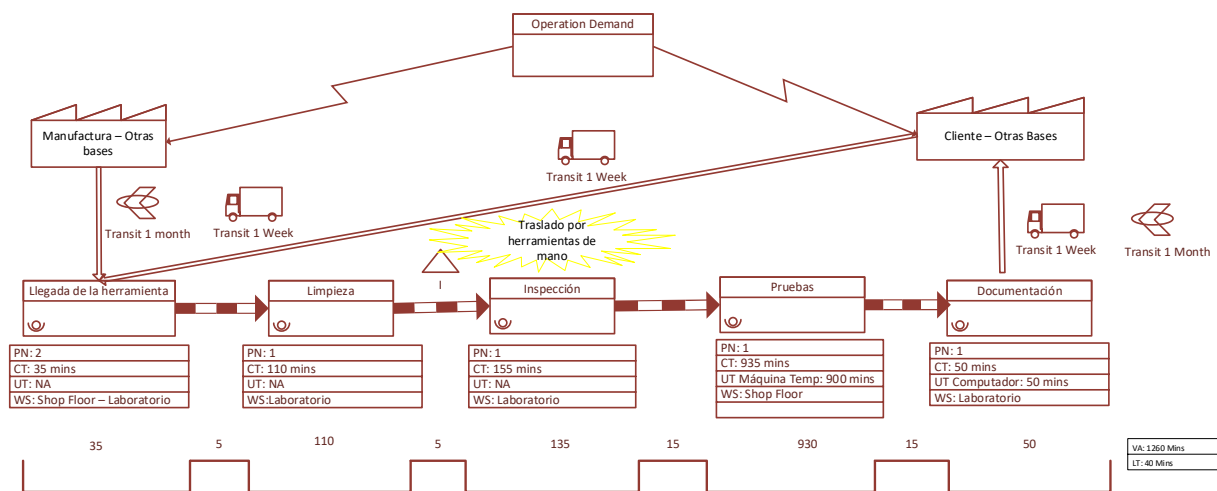
| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----------|----------|---|----------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 20 | 18,5 | 17,9 | 19 | 17,4 | 18,7 | 17 | 19 | 1,08 | 18,80 | 2 | 147,5 | 8 | 18,44 | 23,90 | 0,40 | | | | | | | | | | | | |
| | Entrega en el laboratorio | 7,3 | 7 | 8 | 6,7 | 7,5 | 7 | 9 | 8,1 | 0,51 | 7,43 | 3 | 60,6 | 8 | 7,58 | 9,82 | 0,16 | | | | | | | | | | | | |
| Limpieza de la herramienta | Limpieza del cuerpo | 45 | 50 | 47 | 50 | 48 | 51 | 47 | 49 | 2,52 | 47,33 | 2 | 387 | 8 | 48,38 | 62,69 | 1,04 | | | | | | | | | | | | |
| | Limpieza interna | 28 | 26 | 27 | 30 | 25 | 29 | 27 | 34 | 1,00 | 27,00 | 2 | 226 | 8 | 28,25 | 36,61 | 0,61 | | | | | | | | | | | | |
| | Limpieza de conectores | 6,4 | 6,8 | 8 | 7,3 | 7 | 7,2 | 6 | 7,8 | 0,83 | 7,07 | 5 | 56,5 | 8 | 7,06 | 9,15 | 0,15 | | | | | | | | | | | | |
| Inspección | Inspección física | 40 | 45 | 42 | 47 | 39 | 46 | 47 | 44 | 2,52 | 42,33 | 3 | 350 | 8 | 43,75 | 56,70 | 0,95 | | | | | | | | | | | | |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 20 | 22 | 25 | 19 | 22 | 26 | 24 | 21 | 2,52 | 22,33 | 5 | 179 | 8 | 22,38 | 29,00 | 0,48 | | | | | | | | | | | | |
| | Ajuste de tornillos | 14 | 16 | 15 | 14 | 13 | 14 | 15 | 14 | 1,00 | 15,00 | 3 | 115 | 8 | 14,38 | 18,63 | 0,31 | | | | | | | | | | | | |
| | Aislamiento y continuidad | 6,3 | 7 | 6 | 6,5 | 6,3 | 5,8 | 6,4 | 6 | 0,51 | 6,43 | 3 | 50,3 | 8 | 6,29 | 8,15 | 0,14 | | | | | | | | | | | | |
| | Pruebas de extracción | 9 | 11 | 11 | 13 | 9 | 10 | 11 | 13 | 1,15 | 10,33 | 5 | 87 | 8 | 10,88 | 14,09 | 0,23 | | | | | | | | | | | | |
| | Inspección tubos Gamma | 20 | 22 | 24 | 25 | 23 | 20 | 21 | 20 | 2,00 | 22,00 | 4 | 175 | 8 | 21,88 | 28,35 | 0,47 | | | | | | | | | | | | |
| Prueba de la herramienta | Prueba de temperatura | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 0,00 | 720,00 | 0 | 5760 | 8 | 720,00 | 933,12 | 15,55 | | | | | | | | | | | | |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 10 | 12 | 11 | 9 | 10 | 8 | 9 | 11 | 1,00 | 11,00 | 4 | 80 | 8 | 10,00 | 12,96 | 0,22 | | | | | | | | | | | | |
| | Actualización en sistema | 30 | 28 | 33 | 25 | 26 | 29 | 30 | 31 | 2,52 | 30,33 | 4 | 232 | 8 | 29,00 | 37,58 | 0,63 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 97,6 | 991,3 | 994,9 | 991,5 | 973,2 | 991,7 | 989,4 | 997,9 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | | 988,24 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | RF | | 1,08 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | TN | | 1067,30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | SF | | 0,20 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | | 1280,76 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | | 21,35 | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. La tabla ilustra el número de ciclos observados para la estandarización de tiempos de mantenimiento de un inserto gamma

Para esta herramienta el VSM (Figura 21) se observa un tiempo de valor agregado de 1260 minutos y un lead time de 40, considerándose la prueba de temperatura de aproximadamente 15 horas que debe realizarse al inserto. Igualmente, este diagrama continúa ilustrando el traslado por falta herramientas de mano en el área de trabajo.

Figura 21.

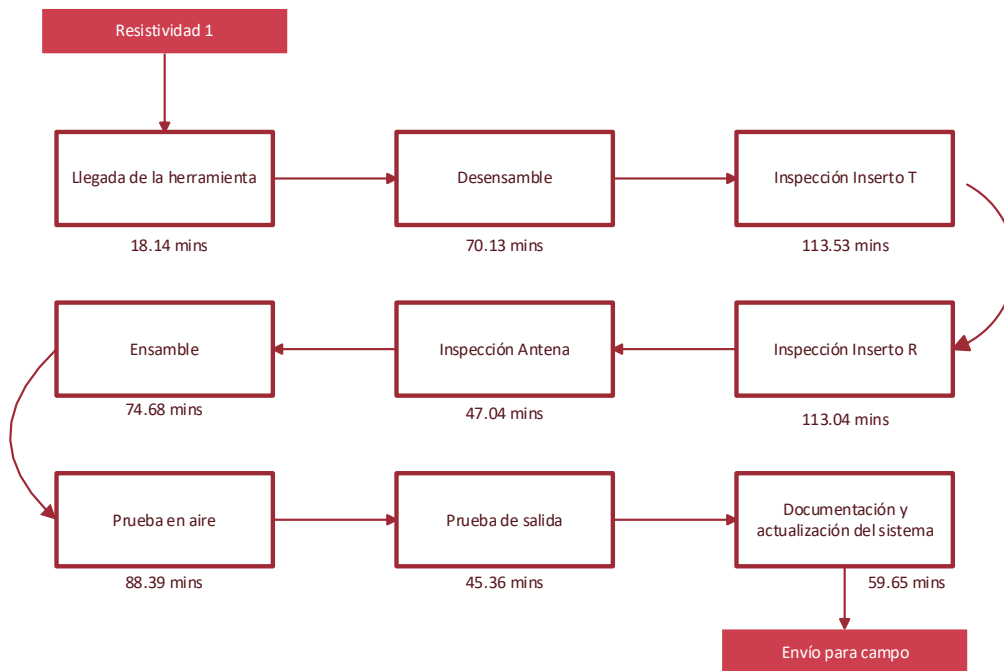
VSM Mantenimiento inserto de gamma



Nota: La figura muestra el VSM para el mantenimiento del inserto de Gamma

4.1.1.f. Resistividad 1. La herramienta de resistividad funciona a través de señales emitidas por un transmisor y recibidas por el receptor, cuya variación depende de los fluidos que se encuentren en el subsuelo, permitiendo la caracterización del tipo de fluido y la identificación de las arenas productoras. Su mantenimiento consta de un desensamble donde se remueven e inspeccionan sus insertos y tubulares, su ensamble, la posterior calibración de la herramienta y el formateo y la prueba de memoria de sus tarjetas, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Diagrama de bloques mantenimiento herramienta de resistividad 1



Nota: La figura muestra los principales procesos para el mantenimiento de una herramienta de resistividad 1

Para la estandarización de tiempos se destaca que las condiciones de mantenimiento son muy similares a las de los insertos, razón por la cual son asignados suplementos de fatiga asociados al trabajo de pie, peso superior a 5 Kg, precisión las actividades de calibración y la exposición a ruidos, pues en los procesos de ensamble y desensamble el técnico se encuentra en un área donde se utiliza máquina de torque y puente grúa, las cuales generan sonidos cuando son utilizadas a manera preventiva. Los suplementos y calificaciones mencionadas en las tablas 36 y 37 son las empleadas para la estimación del tiempo estándar en las herramientas de resistividades, al ser todas manejadas por el mismo personal. Para la herramienta en mención, su mantenimiento tiene una duración de 10,49 horas (Tabla 35).

Tabla 35. Estandarización de tiempos para la herramienta resistividad 1

| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------------|----------|---|-------|----------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 12 | 13 | 14 | 15 | 13 | 14 | 15 | 16 | 1,29 | 13,50 | 4 | 112 | 8 | 14,00 | 18,14 | 0,30 |
| Desensamblable | Traslado BOM | 15,8 | 15 | 16,1 | 14,7 | 14 | 16 | 15 | 15,3 | 0,66 | 15,40 | 2 | 121,9 | 8 | 15,24 | 19,75 | 0,33 |
| | Uso BreakOut Machine | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 0,00 | 25,00 | 0 | 200 | 8 | 25,00 | 32,40 | 0,54 |
| | Traslado área de trabajo | 15 | 16 | 14 | 13 | 14 | 12 | 14 | 13 | 1,29 | 14,50 | 4 | 111 | 8 | 13,88 | 17,98 | 0,30 |
| Inspección Inserto T | Limpieza | 13,8 | 15 | 16 | 14 | 13 | 15 | 17 | 15 | 1,01 | 14,70 | 3 | 118,8 | 8 | 14,85 | 19,25 | 0,32 |
| | Inspección física | 31,3 | 30 | 35 | 28,3 | 26 | 25 | 24 | 28 | 2,85 | 31,15 | 4 | 227,6 | 8 | 28,45 | 36,87 | 0,61 |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 16 | 15 | 15,4 | 18 | 17 | 16 | 18 | 17 | 1,33 | 16,10 | 4 | 132,4 | 8 | 16,55 | 21,45 | 0,36 |
| | Ajuste de tornillos | 14,5 | 15 | 16 | 14 | 18 | 15 | 17 | 14 | 0,85 | 14,88 | 3 | 123,5 | 8 | 15,44 | 20,01 | 0,33 |
| | Aislamiento y continuidad | 7,2 | 6 | 6,3 | 7 | 5 | 8 | 6 | 7 | 0,57 | 6,63 | 4 | 52,5 | 8 | 6,56 | 8,51 | 0,14 |
| | Pruebas de extracción | 6,8 | 6 | 5,7 | 6,5 | 7 | 5 | 5 | 4 | 0,49 | 6,25 | 4 | 46 | 8 | 5,75 | 7,45 | 0,12 |
| Inspección Inserto R | Limpieza | 14,1 | 16 | 15,8 | 16,3 | 17 | 16,5 | 15,9 | 14,9 | 0,99 | 15,55 | 3 | 126,5 | 8 | 15,81 | 20,49 | 0,34 |
| | Inspección física | 32 | 29 | 25 | 27 | 29 | 33 | 27 | 29 | 2,99 | 28,25 | 5 | 231 | 8 | 28,88 | 37,42 | 0,62 |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 15,2 | 14 | 16 | 16 | 15 | 16 | 18 | 15 | 0,95 | 15,30 | 3 | 125,2 | 8 | 15,65 | 20,28 | 0,34 |
| | Ajuste de tornillos | 13,2 | 12 | 14,5 | 14 | 12 | 13 | 14 | 14 | 1,09 | 13,43 | 4 | 106,7 | 8 | 13,34 | 17,29 | 0,29 |
| | Aislamiento y continuidad | 8,2 | 7 | 7,3 | 8 | 7,6 | 7 | 6 | 6,2 | 0,57 | 7,63 | 3 | 57,3 | 8 | 7,16 | 9,28 | 0,15 |
| | Pruebas de extracción | 5,7 | 6,8 | 7 | 6,5 | 7,1 | 7 | 5 | 6 | 0,57 | 6,50 | 4 | 51,1 | 8 | 6,39 | 8,28 | 0,14 |
| Inspección Antenna | Inspección física | 21,3 | 22 | 25 | 20,7 | 24 | 21 | 23 | 21 | 1,91 | 22,25 | 4 | 178 | 8 | 22,25 | 28,84 | 0,48 |
| | Aplicación epóxico | 15 | 13,4 | 14 | 13 | 16 | 11 | 14 | 16 | 0,87 | 13,85 | 3 | 112,4 | 8 | 14,05 | 18,21 | 0,30 |
| Ensamble | Armado Inserto T | 16 | 15 | 16 | 17 | 15 | 14 | 15 | 17 | 0,82 | 16,00 | 2 | 125 | 8 | 15,63 | 20,25 | 0,34 |
| | Armado Inserto R | 18 | 16 | 17 | 20 | 22 | 14 | 15 | 14 | 1,71 | 17,75 | 5 | 136 | 8 | 17,00 | 22,03 | 0,37 |
| | Uso BreakOut Machine | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 0,00 | 25,00 | 0 | 200 | 8 | 25,00 | 32,40 | 0,54 |
| | Montar la herramienta | 20 | 22 | 24 | 23,5 | 25 | 24 | 23 | 21 | 1,80 | 22,38 | 4 | 182,5 | 8 | 22,81 | 29,57 | 0,49 |
| Prueba de la herramienta | Prueba en aire | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0,00 | 30,00 | 0 | 240 | 8 | 30,00 | 38,88 | 0,65 |
| | Desmontar la herramienta | 14,6 | 13 | 15 | 16 | 17 | 15 | 16 | 14 | 1,25 | 14,65 | 4 | 120,6 | 8 | 15,08 | 19,54 | 0,33 |
| Prueba de salida | Test A | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,00 | 20,00 | 0 | 160 | 8 | 20,00 | 25,92 | 0,43 |
| | Lectura | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0,00 | 15,00 | 0 | 120 | 8 | 15,00 | 19,44 | 0,32 |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 10,9 | 12 | 11 | 11,3 | 10 | 8 | 9 | 11 | 0,50 | 11,30 | 2 | 83,2 | 8 | 10,40 | 13,48 | 0,22 |
| | Actualización en sistema | 36 | 39 | 40 | 37 | 35 | 33 | 34 | 31 | 1,83 | 38,00 | 2 | 285 | 8 | 35,63 | 46,17 | 0,77 |
| | | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | 485,78 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TN | 524,64 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,20 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | 629,56 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 10,49 | | |

Nota: La tabla muestra los ciclos observados para la estimación de tiempos estándar de la herramienta resistividad 1.

Tabla 36. Calificación de desempeño herramienta resistividad 1

| Calificaciones | | |
|-----------------|--------------|-------|
| Aspecto | Calificación | Valor |
| Esfuerzo | B2 | 0,08 |
| Destreza | C2 | 0,03 |
| Consistencia | D | 0 |
| Condiciones | E | -0,03 |
| FACTOR C | | 0,08 |

Nota: Calificaciones del desempeño del técnico en el mantenimiento de herramienta resistividad 1

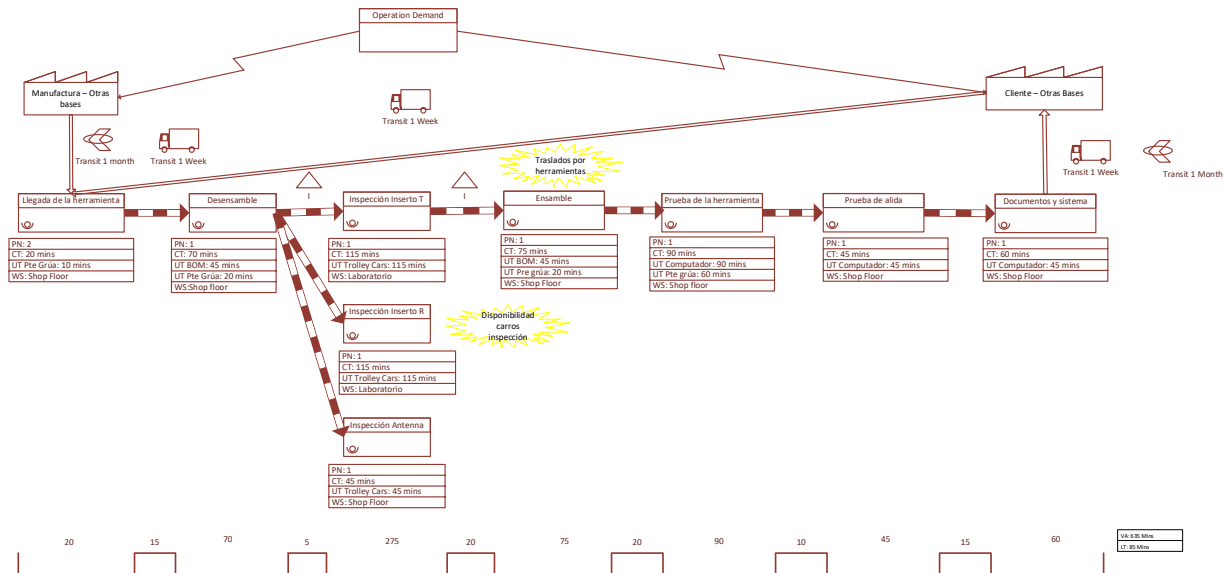
Tabla 37. Suplementos de fatiga asociados al mantenimiento de la herramienta resistividad 1

| SUPLEMENTOS | |
|------------------------|-----|
| Necesidades Personales | 5% |
| Suplemento base | 4% |
| Trabajo de pie | 2% |
| Ruidos | 2% |
| Levantar pesos 5 Kg | 1% |
| Monótono | 1% |
| Gran precisión | 5% |
| SUMA | 20% |

El VSM realizado para esta herramienta destaca dos aspectos importantes en el proceso: la falta de disponibilidad de trolley cars para la inspección de los insertos y el constante traslado del personal a los laboratorios buscando herramientas de mano para la inspección de los mismos. Tiene un tiempo de valor agregado de 635 minutos y un lead time de 85 minutos, como puede observarse en la Figura 23.

Figura 23.

VSM Mantenimiento herramienta de resistividad 1

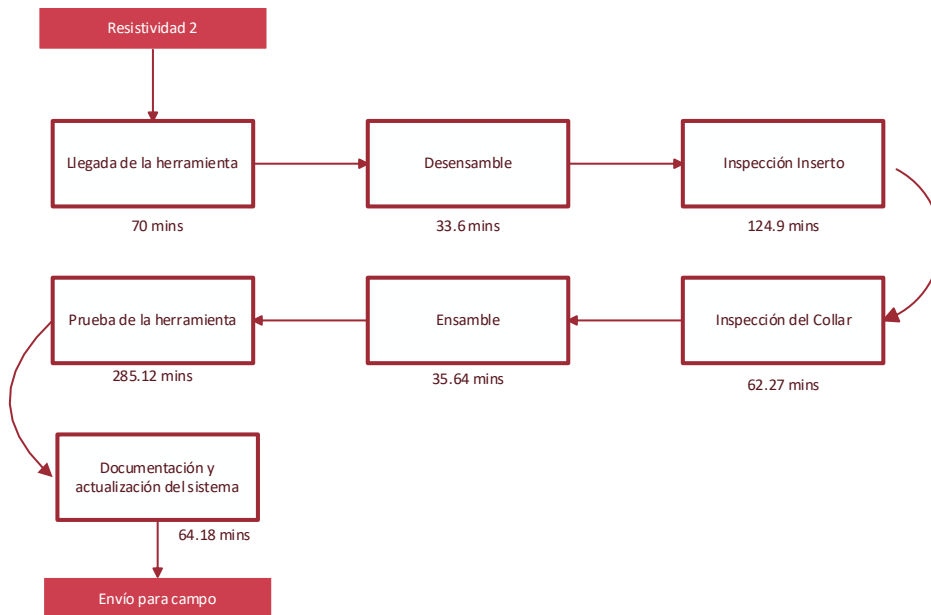


Nota. La figura muestra el mantenimiento para la herramienta resistividad 1

4.1.1.g. Resistividad 2. Esta herramienta provee una caracterización de alta resolución de la formación geológica perforada a través de una fuente radioactiva. Su mantenimiento consta un test de funcionalidad para revisar el estado en el cual llegó de pozo, posteriormente un proceso de desensamble, inspección del collar y su inserto, y ensamble para posteriormente realizar una calibración y una prueba de verificación de la misma, que busca garantizar que se encuentra en condiciones óptimas para ser enviadas a campo. Lo descrito anteriormente puede observarse en la Figura 24.

Figura 24.

Diagrama de bloques mantenimiento herramienta resistividad 2



Nota. La figura describe los principales procesos para el mantenimiento de la herramienta de resistividad 2.

Referente a la estandarización de tiempos la Tabla 38 describe más a detalle las operaciones que conllevan los procesos descritos en el diagrama de bloques. En este caso la inspección del collar, el inserto y sus componentes son las operaciones de tiempo variable que más tiempo requieren. Adicionalmente las pruebas de calibración y verificación tienen un tiempo constante de 3,67 horas. De esta manera, el tiempo estándar para el mantenimiento de una herramienta de resistividad 2 es de 11, 26 horas.

Tabla 38.

Estandarización de tiempos herramienta de resistividad 2

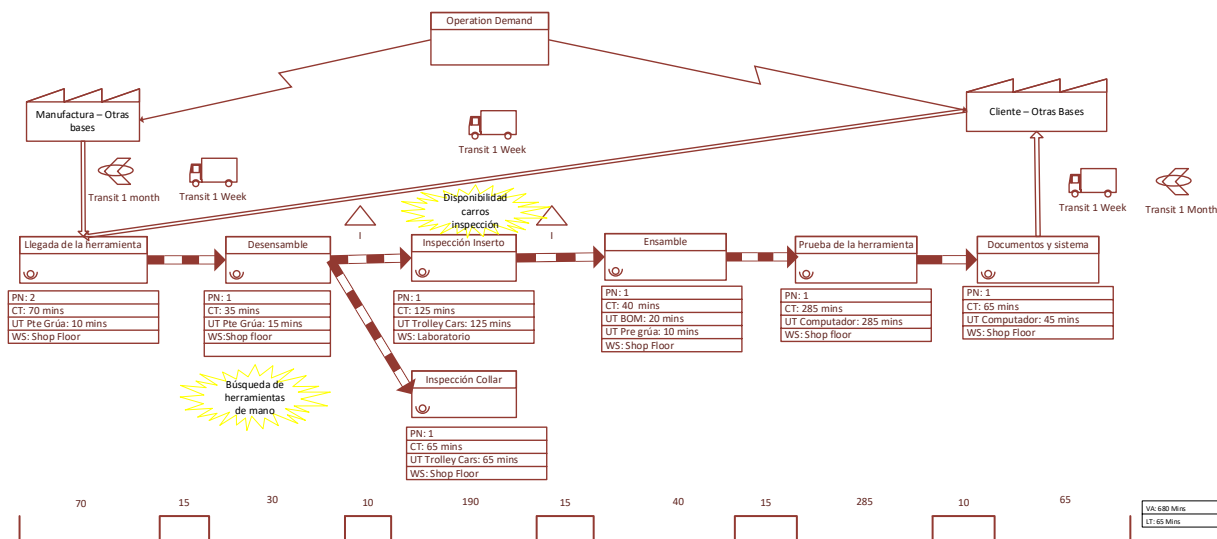
| Proceso | Operación | Tiempos observados | | | | | | | | Desv. Est. | Promedio | n | TTE | No. Ciclos | T. Promedio | T. Estándar (Mins) | T. Estándar (Hrs) | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------------|----------|-------|-------|------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------|-------|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | |
| Llegada de la herramienta | Recibido por logística | 19,6 | 21 | 22 | 22,9 | 19 | 17 | 15 | 17 | 1,41509717 | 21,375 | 3 | 153,5 | 8 | 19,19 | 24,87 | 0,41 | | | | |
| | Prueba funcional de llegada | 33 | 35 | 37 | 40 | 36 | 34 | 31 | 33 | 2,98607881 | 36,25 | 4 | 279 | 8 | 34,88 | 45,20 | 0,75 | | | | |
| Desensamble | Remover Inserto | 25,4 | 27 | 25 | 26 | 24 | 27 | 28 | 25 | 0,86986589 | 25,85 | 2 | 207,4 | 8 | 25,93 | 33,60 | 0,56 | | | | |
| Inspección Inserto | Limpieza | 18 | 16 | 16,5 | 17 | 19 | 15 | 16 | 17 | 0,85391256 | 16,875 | 2 | 134,5 | 8 | 16,81 | 21,79 | 0,36 | | | | |
| | Inspección física | 35 | 39 | 34 | 36 | 41 | 35 | 37 | 36 | 2,1602469 | 36 | 3 | 293 | 8 | 36,63 | 47,47 | 0,79 | | | | |
| | Reemplazo de cintas, consumibles | 18 | 17,5 | 15,9 | 16 | 18 | 17 | 18 | 17 | 1,05987421 | 16,85 | 3 | 137,4 | 8 | 17,18 | 22,26 | 0,37 | | | | |
| | Ajuste de tornillos | 13,2 | 11,9 | 12 | 13,4 | 11,5 | 14 | 12,6 | 10 | 0,78475049 | 12,625 | 3 | 98,6 | 8 | 12,33 | 15,97 | 0,27 | | | | |
| | Aislamiento y continuidad | 7 | 6,5 | 7,6 | 8 | 6,9 | 7 | 9 | 10 | 0,66017674 | 7,275 | 4 | 62 | 8 | 7,75 | 10,04 | 0,17 | | | | |
| | Pruebas de extracción | 5,5 | 5,6 | 6,4 | 6 | 6,3 | 5 | 5,4 | 5,3 | 0,41129876 | 5,875 | 3 | 45,5 | 8 | 5,69 | 7,37 | 0,12 | | | | |
| Inspección collar | Inspección cuerpo | 12 | 11 | 11,9 | 10 | 9 | 12 | 8,7 | 11 | 0,93229108 | 11,225 | 4 | 85,6 | 8 | 10,70 | 13,87 | 0,23 | | | | |
| | Inspección Pads | 20 | 21 | 22,5 | 24,3 | 24 | 21 | 20 | 22 | 1,8734994 | 21,95 | 4 | 174,8 | 8 | 21,85 | 28,32 | 0,47 | | | | |
| | Inspección de roscas | 15 | 16 | 14 | 13 | 15 | 17 | 18 | 16 | 1,29099445 | 14,5 | 4 | 124 | 8 | 15,50 | 20,09 | 0,33 | | | | |
| Ensamble | Ensamble Inserto | 25 | 26 | 24 | 25 | 27 | 30 | 28 | 35 | 0,81649658 | 25 | 2 | 220 | 8 | 27,50 | 35,64 | 0,59 | | | | |
| Prueba de la herramienta | Calibración | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 0 | 120 | 0 | 960 | 8 | 120,00 | 155,52 | 2,59 | | | | |
| | Test Post Calibración | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 100 | 0 | 800 | 8 | 100,00 | 129,60 | 2,16 | | | | |
| Documentos y sistema | Etiquetado | 15 | 17 | 14,5 | 15,7 | 15 | 18 | 15,6 | 16 | 1,08474267 | 15,55 | 3 | 126,8 | 8 | 15,85 | 20,54 | 0,34 | | | | |
| | Actualización en sistema | 35 | 33 | 31 | 33 | 35 | 33 | 36 | 33,4 | 1,63299316 | 33 | 2 | 269,4 | 8 | 33,68 | 43,64 | 0,73 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 516,7 | 523,5 | 514,3 | 526,3 | 526,7 | 52,2 | 518,3 | 523,7 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | T. Cronómetro | 521,44 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | RF | 1,08 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | TN | 563,15 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | SF | 0,20 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | TS (Mins) | 675,78 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | TS (Hrs) | 11,26 | | | | | |

Nota. La tabla ilustra el número de ciclos observados para la estandarización de tiempos de mantenimiento de la herramienta de resistividad 2

Al igual que para la resistividad 1, el VSM para esta herramienta permite observar los traslados por herramientas y las esperas por disponibilidad de trolley cars o carritos de inspección para la realización de los mantenimientos de la herramienta. Para este caso se tiene un tiempo de valor agregado y un lead time de 680 y 65 minutos respectivamente.

Figura 25.

VSM Mantenimiento herramienta de resistividad 2



Nota. La figura muestra el VSM para el mantenimiento de la herramienta en estudio.

4.1.2. Identificación de oportunidades de mejora

Para la identificación de las oportunidades de mejora las herramientas fueron agrupadas en las sub-áreas de perforación: Telemetría, Probetas, Insertos y Resistividades, teniendo en cuenta que en cada una el mantenimiento es desarrollada por el mismo técnico y en su respectiva área de trabajo, por ende, sus necesidades al momento de realizar el estudio eran similares.

Se partió de la realización de diagramas de Ishikawa para poder clasificar adecuadamente las demoras en los mantenimientos, así como mediante la identificación de desperdicios Lean en cada una de las áreas, con el fin de abordarlas más adelante.

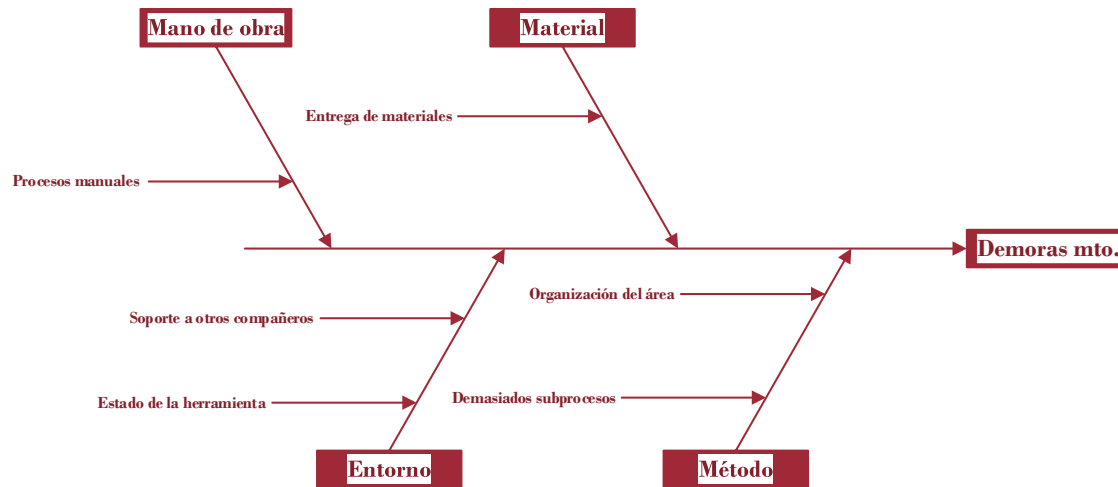
4.1.2.a. Diagramas de Ishikawa. La elaboración de estos diagramas permitió entender el porqué de las demoras en los procesos de mantenimiento que anteriormente no eran claros para la gerencia, tomando como base que para su sistema de operación emplean únicamente 4M's (Materiales, mano de obra, método y entorno). A partir de allí fueron establecidos los desperdicios Lean a abordar en la presente investigación y aquellos que se salieran de la cobertura del proyecto fueron tomados por los supervisores y cargos directivos para darles el tratamiento correspondiente.

Para la herramienta de telemetría, cuyo diagrama se ilustra en la Figura 26, se destaca que su mantenimiento es un proceso demasiado manual que es difícil de optimizar más allá la adquisición de experiencia en el ensamble, y que gran parte del tiempo de la limpieza depende del estado en que la herramienta llegue de campo, también se evidencia un constante traslado del técnico a otro laboratorio para brindar soporte en *temas* de sistemas a otros compañeros, lo cuál afecta sus tiempos de mantenimiento.

Como factor adicional es posible destacar falta en el orden de la mesa de trabajo, lo cuál hace que el técnico se tome más tiempo mientras ubica ciertas herramientas para el desarrollo de sus actividades.

Figura 26.

Diagrama de Ishikawa para la herramienta de telemetría

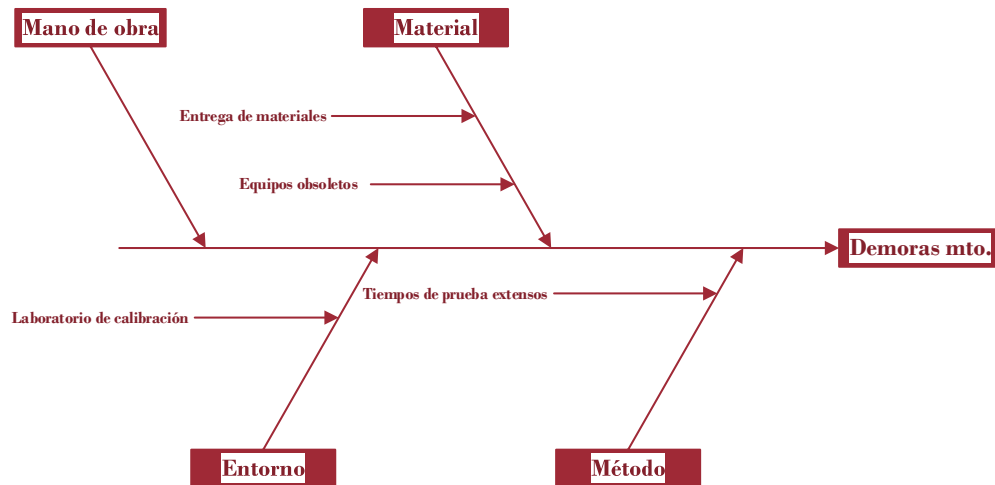


Nota. La figura ilustra las 4M's identificadas en el mantenimiento de la herramienta de telemetría

El diagrama de Ishikawa para el mantenimiento de las probetas se ilustra en la Figura 27, donde se evidenció que el técnico ocupaba la mayor parte del tiempo en el desarrollo de actividades que requerían el uso de un computador, pues llegó a ser considerado obsoleto. Asociado exclusivamente a la probeta direccional, las condiciones de calibración se ven afectadas por condiciones rutinarias en el área de operación, como lo es el movimiento del puente grúa o el paso de camiones.

Figura 27.

Diagrama de Ishikawa para el mantenimiento de probetas

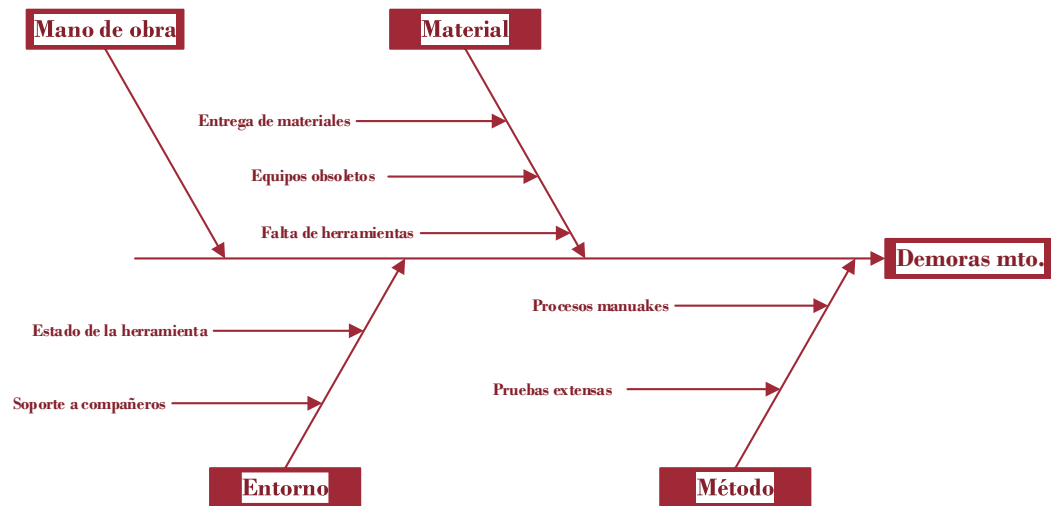


Nota .La figura ilustra las 4M's identificadas en el mantenimiento de las probetas

La figura 28 la muestra el diagrama para el área de insertos, donde se evidenció el traslado del técnico a otros laboratorios buscando herramientas de mano como calibradores y multímetros para el desarrollo de sus operaciones. Adicionalmente las pruebas de estas herramientas suelen ser extensas y requerir del uso de máquinas de presión, hornos, entre otros.

Figura 28.

Diagrama de Ishikawa para el mantenimiento de insertos

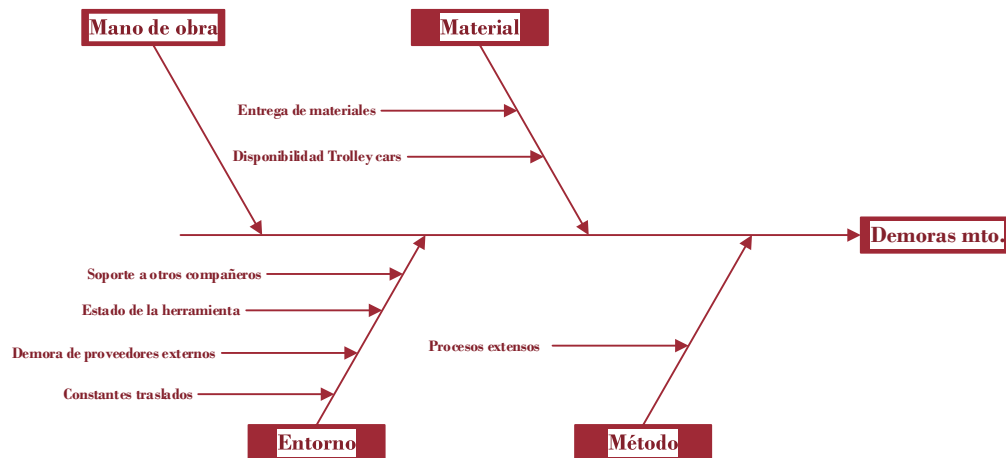


Nota. La figura ilustra las 4M's identificadas en el mantenimiento de los insertos

Referente a las resistividades, el diagrama de Ishikawa lo ilustra la Figura 29, en este se pueden destacar como factores internos la disponibilidad de stands o trolley cars para la inspección de insertos, pues no hay cantidades suficientes y se debe esperar a que sean desocupados para poder realizar su mantenimiento. Adicionalmente, la persona encargada de esta área es el líder técnico líder, razón por la cual debe brindar soporte a los demás compañeros cuando lo requieran.

Figura 29.

Diagrama de Ishikawa mantenimiento de resistividades



Nota. La figura ilustra las 4M's identificadas en el mantenimiento de las resistividades

A manera general la entrega de materiales fue un factor de grandes demoras ya que podría llegar a tardar más de 4 horas en recibir los mismos, al consistir en un proceso de solicitud y aprobación de parte del supervisor, para posteriormente enviar el requerimiento al área almacén que se encarga de su respectiva distribución y entrega. Igualmente, el tiempo de limpieza de las herramientas dependen de como las mismas lleguen de campo y del uso que se les haya dado durante la operación, por lo general el fluido de perforación se seca en la herramienta y esto genera que se tome más tiempo del planeado durante esta actividad.

4.1.2.b. Desperdicios Lean. En esta sección se ilustran las mudas o desperdicios Lean evidenciados en los acompañamientos a los procesos de mantenimiento. El objetivo principal de la identificación de los mismos es abordarlos mediante la implementación de Herramientas Lean Manufacturing en el inciso siguiente. Los desperdicios evidenciados se muestran en la Tabla.

Tabla 39.*Desperdicios Lean evidenciados en el acompañamiento a los procesos*

| Sub área | Desperdicio | Descripción |
|----------------|---------------|---|
| Telemetría | Extra proceso | Desorden en el área de trabajo |
| Telemetría | Extra Proceso | Cambio o mantenimiento de partes cuando aún no es necesario (estado físico, horas). |
| Probetas | Extra proceso | Maquinaria obsoleta, toman más tiempo del debido en el uso de actividades que requieren computador |
| Probetas | Extra proceso | Realización de varias calibraciones de la probeta por factores como el uso del puente grúa en el taller o el paso de camiones |
| Insertos | Extra proceso | Disposición de medidas, y materiales |
| Insertos | Extra proceso | Cambios en las medidas de conectores por falta de comunicación entre áreas |
| Insertos | Inventario | Falta de unidades de partes consideradas consumibles en el laboratorio |
| Insertos | Inventario | Traslados por herramientas a otros laboratorios |
| Insertos | Extra proceso | Desorden en el almacenamiento de químicos |
| Resistividades | Movimientos | Traslados al laboratorio por insumos |
| Resistividades | Espera | Falta de stands para inspección de insertos |
| General | Extra proceso | Variaciones en los requerimientos de herramienta |

Nota. La tabla describe las mudas evidenciadas en los acompañamientos a los procesos.

A partir de estos análisis se concluye que la disposición y orden de herramientas e insumos para cada una de las áreas es una de las principales razones de tiempos muertos en los procesos de mantenimiento, generando traslados innecesarios del personal por el Shop Floor, el estado de ciertos equipos y laboratorios que requieren condiciones especiales para un desarrollo eficiente de las operaciones, así como los cambios o modificaciones en las herramientas por falta de comunicación y planeación en el área. Estos aspectos serán tratados a partir de herramientas Lean que permitan optimizar los recursos y tiempos de trabajo en el área de estudio.

4.2. Desarrollo de propuestas de mejora tomando como base herramientas Lean Manufacturing

Una vez se cuenta con el diagnóstico de las condiciones actuales de la planta de mantenimiento se procede a evaluar cuales herramientas Lean Manufacturing pueden suplir dichas necesidades.

Sin embargo, al existir gran variedad de herramientas y evitando cometer uno de los principales errores de la implementación de las mismas, donde se buscan desarrollar muchas herramientas en todos los lugares sin un plan de acción determinado (denominado Pop Corn Kaizen). De esta manera las oportunidades de mejora fueron evaluadas con la colaboración y opinión técnica de la gerencia de mantenimiento y los supervisores, así como de las capacidades de la compañía (teniendo como pilar el principio alto impacto-bajo costo), identificando herramientas que permitan mejorar de forma simultánea el mayor número de áreas, para garantizar un diseño exitoso del plan de mejora, como se puede observar en la Tabla 40.

Tabla 40.

Selección herramientas Lean Manufacturing

| | | Herramientas Lean Manufacturing | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------|----------------------------|-------------------|-----|-------------------|--------|----------|
| | | TPM (Total Productive Maintenance) | SOP (Standard Operating Procedure) | SMED (Single-Minute Exchange of Die) | RCA (Root Cause Analysis) | Kaizen | VSM (Value Stream Mapping) | Visual Management | 5'S | Visual Management | Kanban | Heijunka |
| Desperdicio | | | | | | | | | | | | |
| Desorden en el área de trabajo | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| Cambio o mantenimiento de partes cuando aún no es necesario (estado físico, horas). | | | | 1 | | | | | | | | |
| Maquinaria obsoleta | | | | | | | | 1 | | | | |
| Traslados entre laboratorios | | | | | | | | | | | | |
| Disposición de medidas, y materiales | | | 1 | | 1 | | | | | | | |
| Disposición de herramientas | | | | | | | 1 | | | | | |
| Falta de insumos en stock | | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| Traslados por herramientas a otros laboratorios | | | | | | | | | | | 1 | |
| Desorden en el almacenamiento de químicos | | | | | | | | 1 | | 1 | | |
| Traslados al laboratorio por insumos | | | | | | | | 1 | | | | |
| Falta de stands para inspección de insertos | | | | | | | | 1 | | | | |
| Variaciones en la demanda | | | | | | | | 1 | | | | |
| Total | | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 6 | 2 | 3 | 0 |

Nota. La figura ilustra la matriz de selección para herramientas Lean Manufacturing

A partir de esta tabla se establecen las herramientas Lean a utilizar en el rediseño del sistema de operaciones, de las cuales las resaltadas en color verde (VSM, SOP, RCA) fueron desarrolladas en el numeral anterior, correspondiendo al primer objetivo, y las amarillas (5S, Control Visual y Kanban) serán planteadas en esta sección.

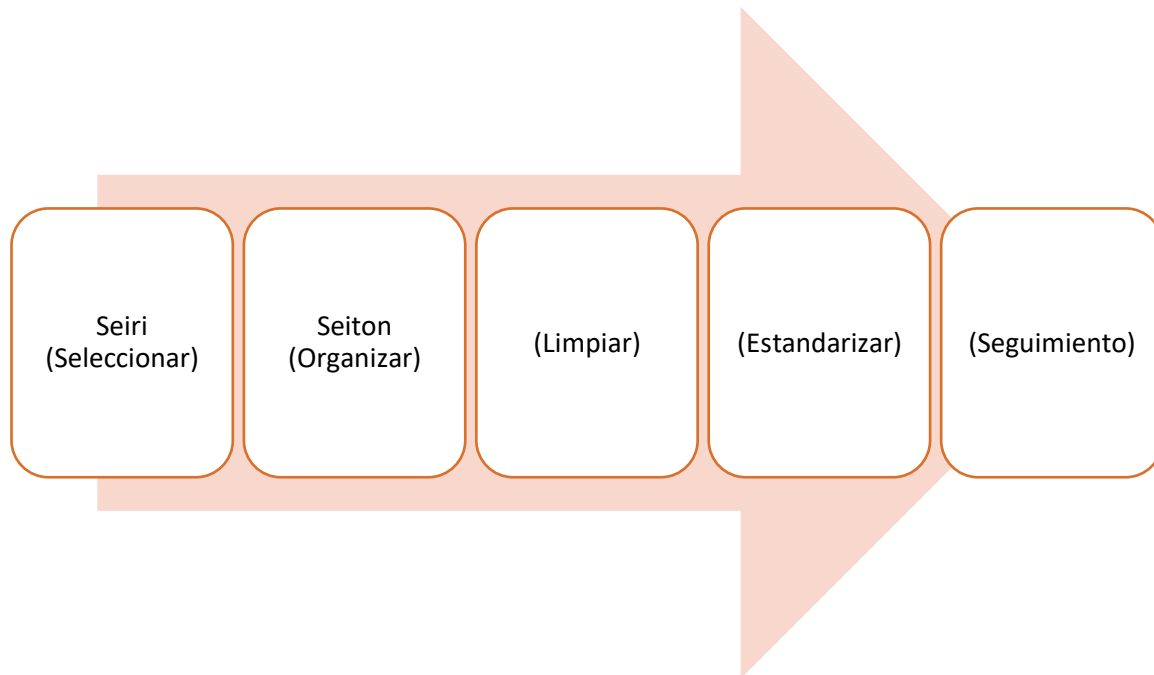
Es válido aclarar que los planes contra medida propuestos serán planteados a manera general considerando el hecho de que serían desarrollados de manera similar en cada una de las sub-áreas mencionadas en el diagnóstico de las operaciones.

4.2.1. 5' S

Las 5 S es una disciplina que permite mejoras en la productividad del lugar de trabajo mediante hábitos de orden y limpieza Se construye a partir de las siguientes etapas:

Figura 30.

Etapas 5S



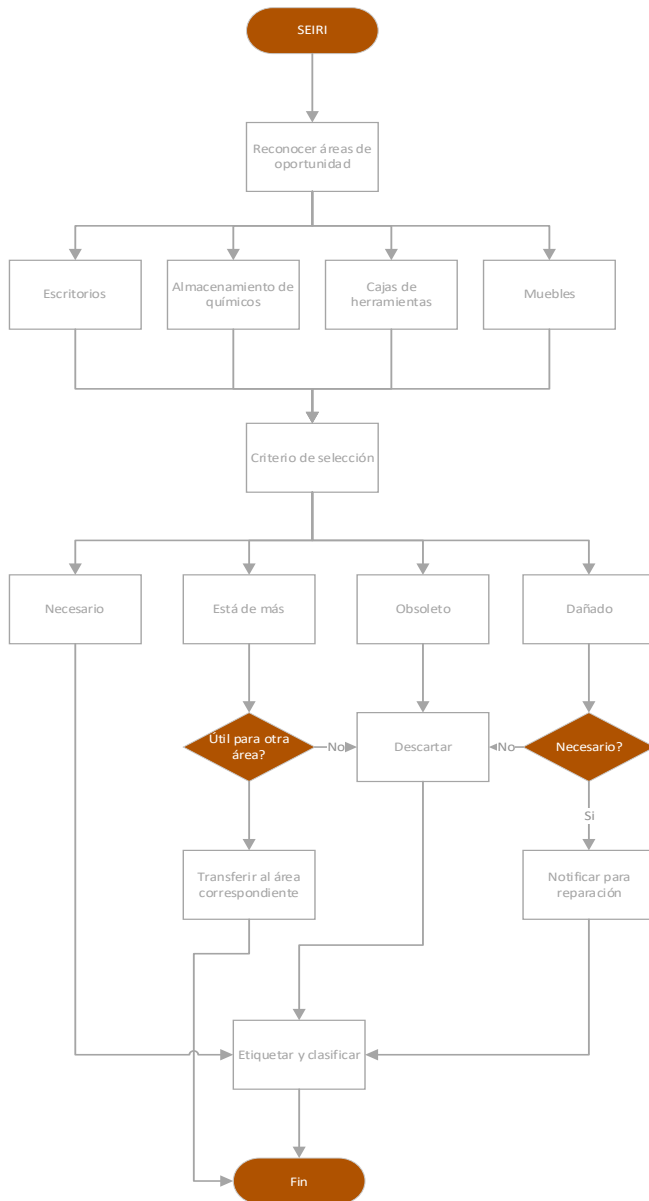
Nota. La figura ilustra las etapas de las 5S.

Esta actividad debe ser desarrollada con los técnicos de cada una de las áreas, ya que ellos conocen con mayor detalle cada una de sus tareas y funciones, de modo que les será más fácil el desarrollo de cada una de las etapas.

4.2.1.a. Seiri – Seleccionar. Consiste en mantener en el lugar de trabajo únicamente las herramientas que son necesarias para las operaciones. Para ello se consideran las siguientes etapas.

Figura 31.

Desarrollo etapa Seiri



Nota. Implementación Seiri

En este punto es importante determinar la falta o exceso de herramientas en el área de trabajo, con el fin de transferirlo a su área respectiva o realizar la solicitud de implementos faltantes para cada área, de modo que se reduzcan traslados del personal por esta razón.

4.2.1.b. Seiton – Organizar. Una vez se tienen los objetos necesarios para las operaciones debe establecerse un lugar específico para cada ítem, facilitando su identificación y localización. Para esta etapa es necesario asignar las ubicaciones teniendo en cuenta su funcionalidad y frecuencia de uso (Destornilladores, alicates, guantes, papelería, etc.). Como entregable del mismo, se debe generar una lista de objetos necesarios, con su respectiva clasificación y ubicación. Para ello se deben plantear las siguientes preguntas:

Figura 32.

Preguntas clave implementación Seiton

¿Qué?

- Definir artículos necesarios

¿Dónde?

- Definir la localización, almacenando artículos juntos que tengan función similar.
- Agrupar herramientas que se utilizan en conjunto
- Señalizar los lugares de almacenamiento de modo que sea fácil su localización.

¿Cuántos?

- Cantidad necesaria

Nota. La figura muestra las preguntas fundamentales para la implementación Seiton

A manera de ilustración la Tabla 41 muestra una plantilla del inventario de herramientas para cada una de las áreas de trabajo:

Tabla 41.

Plantillas de inventario herramientas de mano

| ORGANIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DEL ÁREA DE TRABAJO | | | |
|--|-------------|----------|-----------|
| ÁREA | | | |
| SUB-ÁREA | | | |
| SUPERVISOR | | | |
| TÉCNICOS | | | |
| | | | |
| CLASIFICACIÓN | HERRAMIENTA | CANTIDAD | UBICACIÓN |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| REALIZADO POR | | | |
| REVISADO POR | | | |
| ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN | | | |

Nota. La tabla muestra la plantilla a implementar en las áreas de trabajo para el inventario de las herramientas de mano

4.2.1.c. Seiso – Limpiar. Este aspecto busca mantener el lugar de trabajo en condiciones óptimas de aseo. Es importante establecer un programa de limpieza que establezca áreas, responsable y frecuencia de cada una de las áreas, con el fin de mantener una trazabilidad del mismo, ya que en ocasiones la alta operación genera que esta tarea no sea realizada con la constancia esperada. Para ello se debe realizar un listado con cada una de las actividades de limpieza a realizar, asignando frecuencias de la actividad y responsables de las mismas, tal como se observa en la Tabla 42.

Tabla 42.

Cronograma de limpieza áreas de trabajo

| CRONOGRAMA DE LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO | |
|--|--|
| ÁREA | |
| SUB-ÁREA | |
| SUPERVISOR | |
| TÉCNICOS | |

| Espacios | Responsable | Frecuencia |
|----------|-------------|------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Nota. La tabla es la plantilla para la implementación de actividades de limpieza en las áreas de trabajo por medio de un cronograma.

4.2.1.d. Seiketsu – Estandarizar. En esta etapa se busca generar un hábito en los técnicos de desarrollar estas tareas de forma consistente y regular, integrando las actividades mencionadas en las áreas de trabajo (3S anteriores), e implementando evaluaciones de revisión por parte de los supervisores, generando las retroalimentaciones respectivas y generando el ambiente de trabajo colaborativo.

4.2.1.e. Shitsuke – Seguimiento. Es el paso final de la implementación de esta herramienta, el seguimiento de las 5S nunca termina, deben mantenerse criterios

mínimos de orden y aseo en cada una de las áreas, realizar recorridos Gemba y reconocer el esfuerzo y éxito de las implementaciones, motivando al personal.

4.2.2. Control Visual

Ligado a la implementación de las 5S, el control visual es una herramienta que incorpora elementos gráficos, auditivos y de texto que brindan información en las áreas de trabajo, estas pueden ser: señales, sonidos, etiquetas, tableros, etc. Dentro de sus beneficios se encuentra una mejora de la comunicación en las áreas de trabajo, disminución de interrupciones del personal, y mejora en el tiempo de respuesta por parte de los técnicos en su espacio laboral. Para el presente proyecto en curso serán abordados para seguridad e inventario y materiales.

4.2.2.a. Control visual. Al requerirse condiciones especiales para el mantenimiento es necesario demarcar áreas que requieren un cuidado especial por parte del personal que transita o labora en el lugar. Este andon será desarrollado teniendo en cuenta los estándares de seguridad internos de la compañía, donde principalmente se destacan las ilustradas en la Tabla 43.

Tabla 43.

Control visual Andon

| Área | Señalización |
|--|--|
| Pinch point o punto de atrapamiento |  |
| Líneas de presión |  |
| Altas temperaturas |  |
| Almacenamiento de químicos |  |
| Senderos peatonales |  |
| Almacenamiento de químicos inflamables |  |
| Radioactividades |  |

n

Nota. La tabla describe los controles visuales andon a implementar de acuerdo a estándares corporativos

De igual manera, con el fin de tener un mejor seguimiento y trazabilidad de las herramientas en el área de trabajo, se cuenta con una segregación de colores que deben seguir cada una de las áreas, tal y como lo ilustra la Tabla 44, donde cada herramienta debe tener su número de equipo asociado, la fecha de la última modificación, el nombre del técnico encargado y los comentarios correspondientes a la misma. Adicionalmente las herramientas deberán ser clasificadas y ubicadas en los racks dependiendo de su color, sin mezclarse entre ellas e igualmente, no debe encontrarse ninguna herramienta sin su respectiva clasificación.

Tabla 44.

Identificación y trazabilidad de las herramientas

| Identificación | Descripción |
|--------------------------------------|---|
| Verde (Operativo) | Herramienta que se encuentra totalmente operacional, cumpliendo todos los requisitos y procedimientos de reparación y mantenimiento establecidos. |
| Naranja (En espera) | Cualquier herramienta que requiera trabajos de mantenimiento, no se encuentra listo para ser operativo. |
| Rojo (No conforme) | Herramienta involucrada en falla, o que durante su inspección y mantenimiento fue evidenciada algún tipo de falla que no puede ser reparada. |

Nota. La tabla describe la segregación por colores que deben tener las herramientas en el área de mantenimiento.

4.2.2.b. Control visual de herramientas. Busca demarcar las ubicaciones de herramientas y equipos. Teniendo en cuenta la clasificación realizada en las 5S, cada una de las áreas debe realizar el respectivo etiquetado de los insumos disponibles en su laboratorio, incluyendo armarios, estanterías, cajas de herramientas y demás, con su respectivo contenido

4.2.3. Kanban

Para la presente investigación serán contemplados el Kanban para el inventario de materiales considerados de alta rotación en las áreas, así como un tablero Kanban, para el adecuado seguimiento de los requerimientos de herramientas.

4.2.3.a. Kanban de inventario. Durante el acompañamiento a los procesos de mantenimiento se observó que las distintas áreas cuentan con Kanban de producción para las partes de mantenimiento en sus respectivas áreas, sin embargo, en ocasiones y debido a las responsabilidades de los técnicos en las áreas de trabajo, en ocasiones no realizan el seguimiento adecuado al inventario de su área. Por esta razón será agendado dentro de la reunión preoperacional semanal un recordatorio y seguimiento a los respectivos Kanban.

4.2.3.b. Tablero Kanban. Para un mayor control y seguimiento de los requerimientos de las herramientas serán implementadas en cada una de las áreas tableros Kanban, que permitan saber a nivel interno entre los técnicos del área y externo para supervisores, compañeros, coordinadores y demás personal asociado a la operación, el estado actual del mantenimiento de las herramientas, así como los pendientes y áreas a las cuáles debe considerarse más críticas dependiendo de la demanda. La Tabla 45 ilustra una plantilla general de los tableros a implementar, y la Tabla 46 el diseño de las tarjetas que serán utilizadas para el diligenciamiento de los tableros, para aquellas herramientas que difieran en sus tamaños (como lo es el caso de los insertos y las resistividades) será

asignado un color asociado a los diámetros trabajado: 4", 6" y 8", de modo que puedan ser identificadas fácilmente.

Tabla 45.

Tablero Kanban

| TABLERO KANBAN - ÁREA XX | | |
|--------------------------|-------------|------------|
| POR HACER | EN PROGRESO | FINALIZADO |
| | | |

Nota. Plantilla base para la implementación de tableros Kanban en las áreas de trabajo

Tabla 46.

Tarjetas para el diligenciamiento del tablero Kanban

| | |
|----------------------------|--|
| Herramienta: | |
| Cliente: | |
| Pozo: | |
| Fecha Max. entrega: | |
| Comentario: | |

Nota. La tabla muestra la plantilla que será utilizada para el diligenciamiento de los tableros Kanban

Dichos tableros en la sección “Por hacer” serán diligenciados en primera instancia por el supervisor, quien con actualizaciones de las reuniones de operaciones posee claridad de los requerimientos y configuraciones que deben ser enviadas a pozo. Pasará a ser responsabilidad de cada técnico la actualización de estado en las partes denominadas “En Progreso” y “Finalizado”, de acuerdo al avance de las operaciones de mantenimiento, y serán removidas del tablero una vez la herramienta sea ensamblada para su envío a Campo.

4.2.4. Análisis impacto-costo

Como fue mencionado anteriormente las decisiones planteadas fueron discutidas y seleccionadas con la gerencia y los supervisores de mantenimiento buscando que fuesen soluciones que generen alto impacto con bajo costo, dicha clasificación será descrita en la Tabla 47, en dicha matriz, el objetivo es que las herramientas a ser desarrolladas en las áreas de trabajo se encuentren principalmente en el primer cuadrante, y a consideración de gerencia sobre su posterior implementación en el segundo, dependiendo del monto a invertir y los beneficios que pudiese traer a las operaciones.

Tabla 47.

Matriz cualitativa Impacto-Costo

| Impacto / Costo | Alto | Bajo |
|-----------------|---|--|
| Alto | - 5S: Adquisición de herramientas faltantes | - 5S: Organización - Tableros Kanban - Control visual de herramientas - Control visual de seguridad |
| Bajo | | |

Nota. La matriz muestra la clasificación de las herramientas implementadas en una matriz impacto-costo

Como puede observarse, las herramientas a implementar se encuentran dentro de las condiciones esperadas de bajo costo alto impacto, salvo la adquisición de herramientas faltantes que puede llegar a tener un valor significativo de inversión dependiendo de las necesidades de los laboratorios.

4.3. Evaluación y propuesta del rediseño de la distribución de planta

A continuación, será realizada la evaluación de la distribución de planta actual mediante la metodología SLP (Systematic Layout Planning), la cual consiste en el desarrollo del flujo de materiales en el área de trabajo, la determinación de interacciones entre los procesos mediante la generación de la tabla relacional y el diagrama de relación de procesos, contrastándolo con la distribución actual, y evaluando si se están cumpliendo los requisitos mínimos en el diseño.

4.3.1. Metodología *Systematic Layout Planning*

Para la implementación de esta metodología debe partirse de la generación del flujo de las herramientas en el Shop, donde una vez las herramientas llegan al área de descargue pasan al área donde son realizadas las pruebas de llegada, para posteriormente ser distribuidas a cada una de las áreas donde será realizado su respectivo mantenimiento. La Tabla 48 ilustra el flujo de herramientas en la planta de mantenimiento y puede apreciarse de manera gráfica en la Figura 33, adicionalmente, para mayor detalle en el Anexo 1 se puede apreciar el diseño actual de la planta en 3D.

Tabla 48.

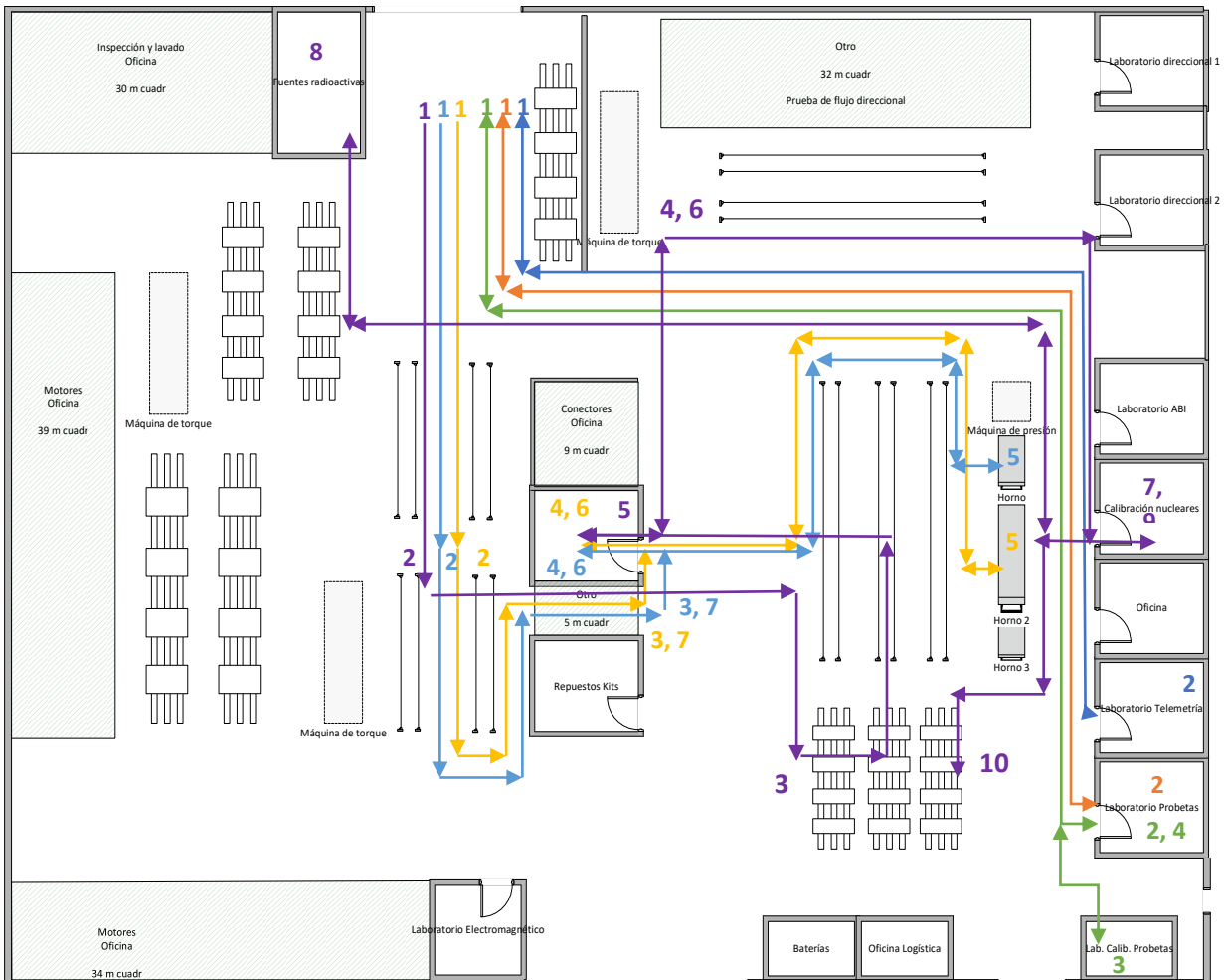
Flujo de herramientas en el área de mantenimiento

| Área / Herramienta | Telemetría | P. Telemetría | P. Gamma | P. Direccional | I. Procesador | I. Presión | I. Gamma | Resistividad 1 | Resistividad 2 |
|---------------------------------------|------------|---------------|----------|----------------|---------------|------------|----------|----------------|----------------|
| Cargue - Descargue herramientas (A) | 1, 3 | 1 | 1 | 1 | 1, 8 | 1, 8 | 1, 8 | 1 | 1 |
| L. Probetas (B) | | 2 | 2 | 2, 4 | | | | | |
| Laboratorio Telemetría (C) | 2 | | | | | | | | |
| Pruebas de llegada (D) | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Rack Insertos (E) | | | | | 3 | 3 | 3 | | |
| Rack herramientas de resistividad (F) | | | | | | | | 3, 10 | 3, 10 |
| Laboratorio Insertos (G) | | | | | 4, 6 | 4, 6 | 4, 6 | 5 | 5 |
| Horno (H) | | | | | 5 | | 5 | | |
| Máquinas de presión (I) | | | | | | 5 | | | |
| Laboratorio calibración probetas (J) | | | | 3 | | | | | |
| Calibración resistividades (K) | | | | | | | | 7, 9 | 7, 8 |
| Fuentes radioactivas (L) | | | | | | | | 8 | 8 |
| Área de ensamble – desensamble (M) | | | | | 7 | 7 | 7 | 4, 6 | 4, 6 |
| Color | | | | | | | | | |

Nota. La tabla describe el flujo de las herramientas en el taller de mantenimiento

Figura 33.

Distribución de planta actual



Nota. La figura muestra la distribución de planta actual con el flujo de las herramientas a través del taller.

Una vez se ha establecido el flujo de las herramientas en el taller se procede a realizar en la tabla relacional, la cual permite establecer la relación de cercanía entre las distintas áreas, y las limitaciones asociadas a su ubicación y espacio que pueden tener algunas de las mismas. Este diagrama se observa en la Figura 34, siendo realizado teniendo en

cuenta la calificación y razón de cercanía que son descritos en las Tablas 49 y 50 respectivamente.

Tabla 49.

Descripción calificación de cercanía

| Calificación de cercanía | |
|---------------------------------|--------------------------|
| Letra | Descripción |
| A | Absolutamente necesario |
| E | Especialmente importante |
| I | Importante |
| O | Ordinario |
| U | Irrelevante |
| XX | Imposible |

Nota. La tabla describe la calificación de cercanía para las áreas en estudio

Tabla 50.

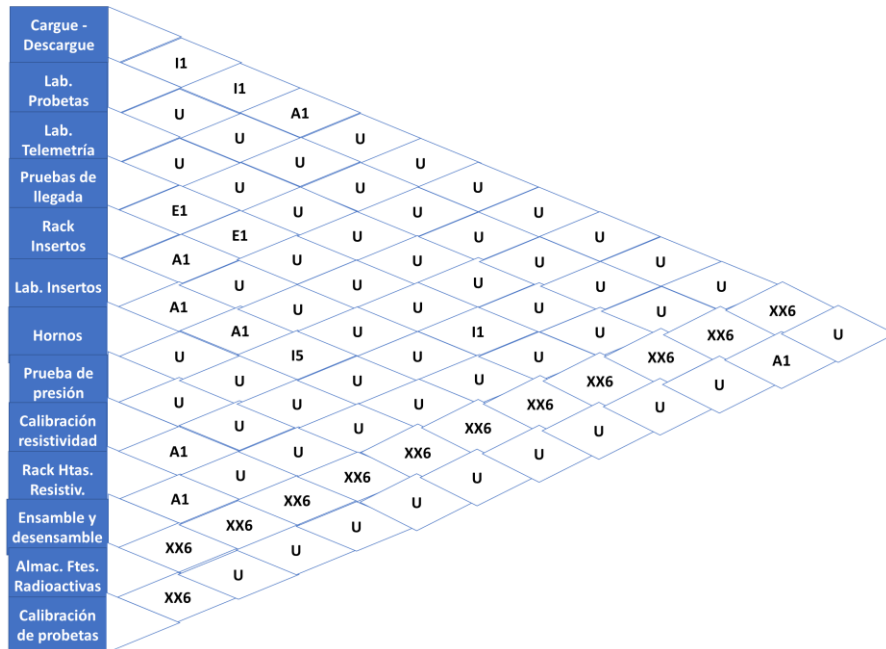
Razón de cercanía

| Razón de cercanía | |
|--------------------------|---------------------|
| Letra | Descripción |
| 1 | Flujo de materiales |
| 2 | Fácil supervisión |
| 3 | Personal común |
| 4 | Contacto necesario |
| 5 | Conveniencia |
| 6 | Seguridad |

Nota. La tabla describe la razón de cercanía para las áreas en estudio

Figura 34.

Diagrama de relaciones entre actividades para el mantenimiento de las herramientas



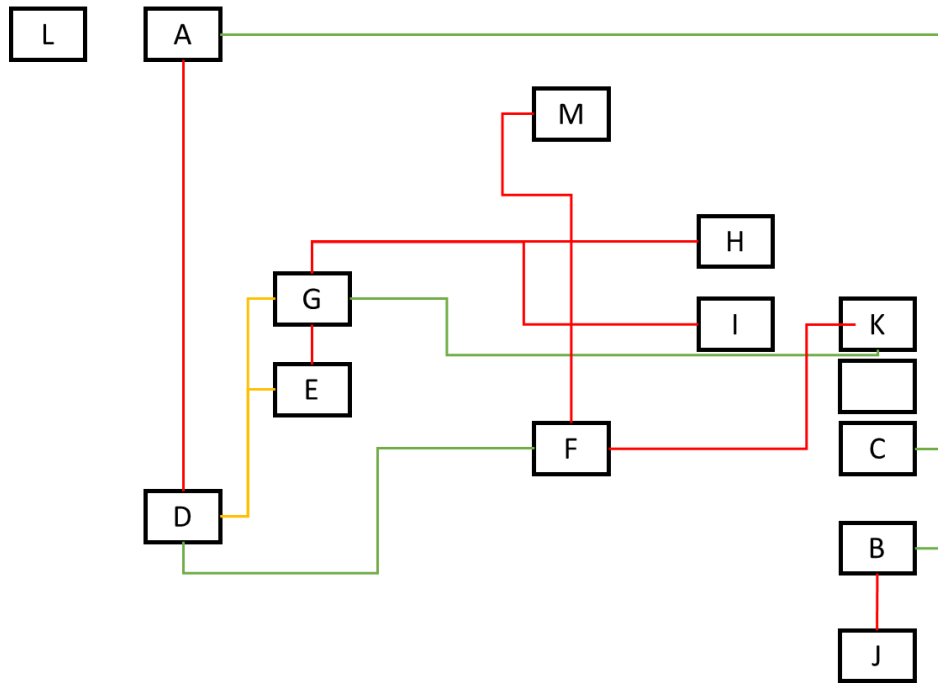
Nota. La figura describe las relaciones entre las áreas para el mantenimiento de las herramientas.

A partir del mismo se establece que las fuentes radioactivas de las resistividades por temas de HSE deben encontrarse en una zona aislada, por lo que el traslado del personal en los momentos de calibración es considerado como necesario. Adicionalmente, la cercanía del laboratorio de insertos a los racks y el área de llegada se considera importante pues disminuye los movimientos de los mismos en el taller, considerando que tienen un peso superior a 5 Kg. Referente a las herramientas de medición (Telemetría y probetas), estas únicamente requieren de su laboratorio para el mantenimiento, a excepción de la probeta direccional, que requiere un espacio adicional para su calibración, que se encuentra en frente), y son únicamente trasladadas a las zonas de cargue-descargue cuando van o llegan de campo respectivamente, destacando que su peso es inferior a 3 Kg, no representan mayor desgaste en temas de traslado.

Una vez se cuenta con la descripción de las relaciones entre las áreas del taller se procede a realizar un diagrama de relación de procesos de la condición actual y uno propuesto para el caso en estudio, teniendo en cuenta la notación ASME, descrita en la Figura 4, específicamente los colores para clasificar la adyacencia. De igual forma, en la realización de este diagrama serán utilizadas las letras asignadas a cada área tal y como se mostró en la Tabla 48 a manera de notación

Figura 35.

Diagrama de relación de procesos actual



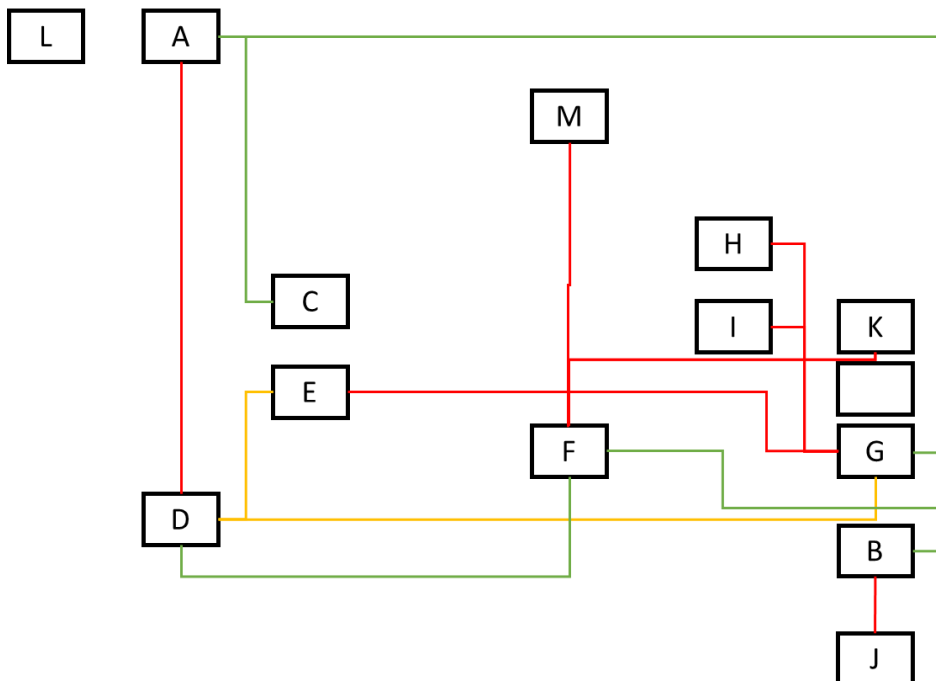
Nota: La figura describe el diagrama de relación actual de procesos del taller de mantenimiento.

En la Figura 35 se observa el recuadro L correspondiente al almacenamiento de fuentes radioactivas sin ninguna línea, ya que es un depósito que se encuentra en el subsuelo con adecuaciones especiales para reducir la exposición a la radioactividad. Para una primera propuesta de distribución se contempla cambiar la ubicación entre los laboratorios de Telemetría e insertos, con el fin de disminuir la distancia entre los hornos

y máquinas de presión con el laboratorio, dicha modificación se puede observar en la Figura 36, sin embargo, al realizar la evaluación del diseño se observa que la ubicación del laboratorio de Telemetría en un área tan central siendo una herramienta que no requiere ningún tipo de traslado durante su mantenimiento no es considerada viable para el diseño.

Figura 36.

Primera propuesta de distribución de planta



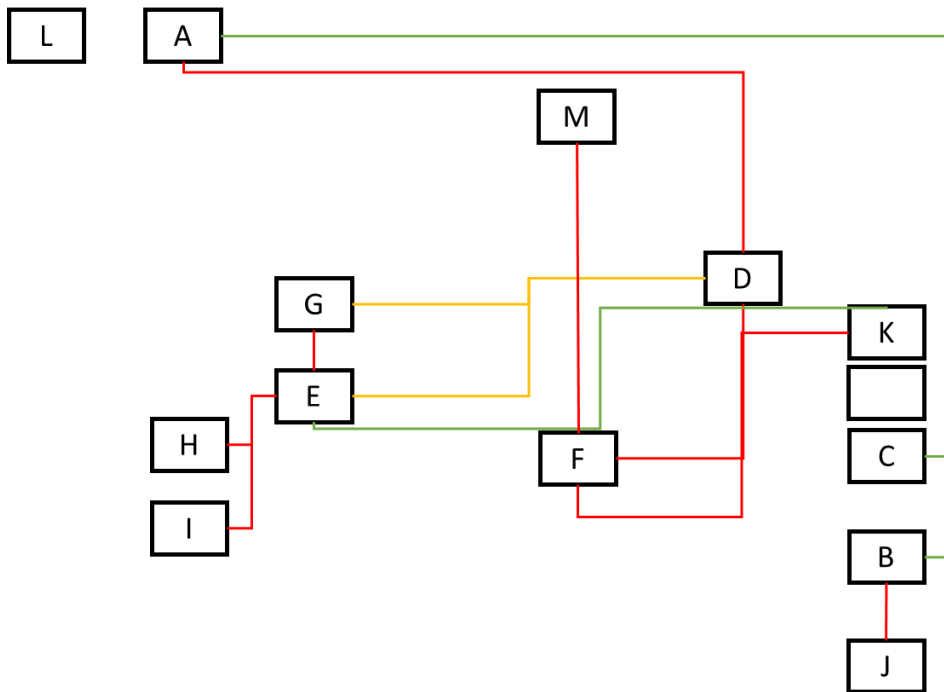
Nota. La figura muestra una primera propuesta de distribución de planta, donde se cambia la ubicación entre los laboratorios de insertos y telemetría.

Como segunda propuesta de distribución se plantea trasladar los hornos y máquinas de presión al área de desensamble, la cual sería ubicada donde se encuentran actualmente dicha maquinaria (Figura 37), disminuyendo la distancia de los racks de insertos y sus laboratorios con las mismas, quedando así el área de ensamble y desensamble contiguas en el taller. Esta fue considerada una propuesta viable ya que no requería adecuaciones en los laboratorios para su implementación, sin embargo, en tiempos de

alta demanda el área de ensamble presenta flujos de trabajo que ocupan todo el espacio disponible para su actividad, y el área disponible que dejaría el traslado de las máquinas no sería suficiente para desarrollar las operaciones de desensamble.

Figura 37.

Segunda propuesta de distribución de planta



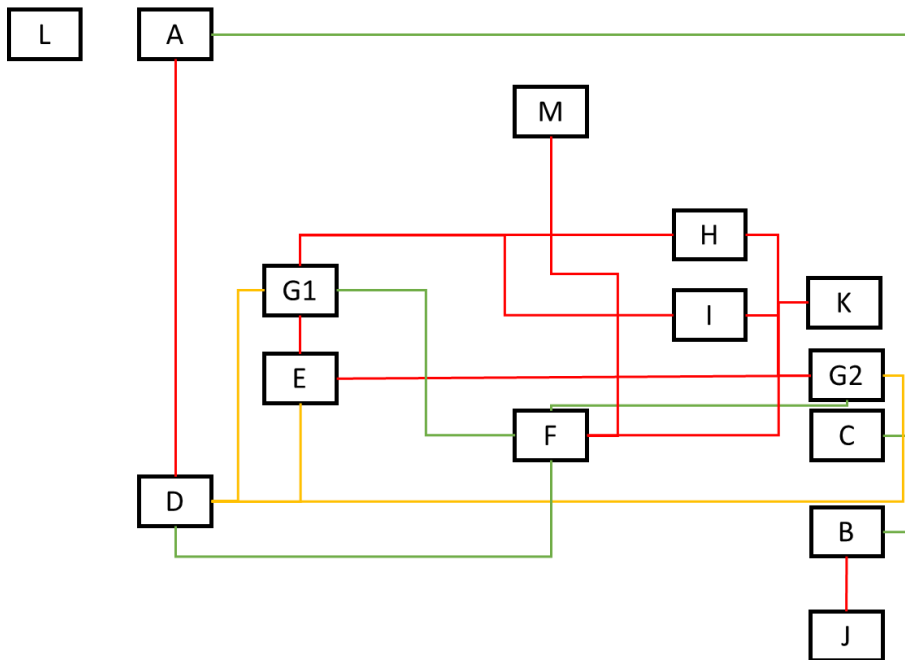
Nota. La figura muestra una segunda propuesta de distribución de planta, donde se cambia la ubicación entre las máquinas de presión y hornos con el área de desensamble.

Para una tercera propuesta se continúan considerando los traslados del personal que realiza la inspección de los insertos y las resistividades al horno y sus fuentes de calibración, así como la falta de espacio que tienen los técnicos de las resistividades para realizar las inspecciones de sus insertos, razón por la cual se propone instalar un nuevo laboratorio para la inspección de insertos contiguo al área de calibración de resistividades, que en estos momentos se encuentra sin ocupación. Siendo utilizado para mantenimientos que requieran cercanía a pruebas de temperatura y/o presión, adecuando espacios óptimos para la realización de estas tareas. Referente a las

herramientas de telemetría y probetas al no tener mayor vínculo con las demás operaciones se encuentran en una ubicación adecuada. De esta manera la propuesta de distribución de planta con la variación propuesta se puede observar en la Figura 38.

Figura 38.

Propuesta distribución de planta



Nota. La figura muestra la propuesta de distribución de planta, donde se plantea la movilización de un laboratorio para disminuir los traslados del personal en la realización de pruebas.

Con esta propuesta de distribución, a pesar de generarse un mayor traslado desde el rack de los insertos hasta el laboratorio para la inspección de los mismos, estas pueden ser controladas con el cronograma de mantenimientos a realizar por los técnicos, donde al iniciar el día pueden realizar el movimiento de las herramientas que en las cuales trabajarán durante la jornada, y se disminuyen para la realización de las pruebas de presión y temperatura, así como para el armado, desarmado e inspección de las resistividades. Dicha propuesta puede apreciarse en 3D en el Anexo 2 del presente documento.

4.4. Establecimiento de indicadores claves de rendimiento que permitan medir la eficiencia, eficacia y productividad de las operaciones

En esta sección serán planteados los indicadores de desempeño a implementar con el fin de tener un control y seguimiento tanto de las estrategias de mejora propuestas como del desempeño en general de las actividades de mantenimiento. Las líneas base fueron estimadas teniendo en cuenta un promedio de 60 horas semanales de trabajo por cada técnico, condiciones asociadas a los procesos y la experiencia en el desarrollo las operaciones de los supervisores y la gerencia, siendo evaluadas con una frecuencia semanal (que permite un seguimiento coherente de los procesos teniendo en cuenta su duración) y serán evaluadas cada trimestre, para replantear condiciones de los mismos.

4.4.1. Indicadores de eficiencia

Los indicadores de eficiencia permiten conocer el nivel de ejecución del proceso. Para el proyecto en estudio contemplados los indicadores de disponibilidad, rendimiento, porcentaje de mantenimiento planificado, y tiempo medio de reparación.

4.4.1.a. Disponibilidad. Indica la relación entre el tiempo disponible y el tiempo total de mantenimiento. Este indicador fue planteado teniendo en cuenta que las paradas imprevistas en los procesos de mantenimiento fueron un factor observado en repetidas ocasiones durante el acompañamiento a los procesos, de esta manera se podrá realizar un seguimiento indirecto de las interrupciones y planear adecuadamente los mantenimientos. La Tabla 51 ilustra su hoja técnica.

Tabla 51.*Hoja de vida indicador disponibilidad*

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|--------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub Área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Líder del área - Supervisor | | | | | |
| Cargo | Técnico - Supervisor | | | | | |
| Tipo de indicador | Eficiencia | | | | | |
| Nombre del indicador | Disponibilidad | | | | | |
| Código | IEN-M01 | | | | | |
| Objetivo | Medir la proporción entre el tiempo de mantenimiento y las paradas imprevistas que se presenten | | | | | |
| Fórmula | $\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo planificado} - \text{Paradas imprevistas}}{\text{Tiempo planificado}}$ | | | | | |
| Rango | Mínimo | 60% | Cumplimiento | 70% | Meta | 90% |
| Fuentes de datos | Reunión de operaciones / Resultados de mantenimiento | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | Definición | | | | | |
| Tiempo planificado | Disposición del tiempo para las operaciones de mantenimiento | | | | | |
| Paradas imprevistas | Pausas en la operación por factores internos y/o externos que no permiten su desarrollo normal | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador disponibilidad

4.4.1.b. Rendimiento. El indicador de rendimiento permite tener una noción de las paradas en el proceso productivo. Así mismo, de qué tan cercanos o lejanos se encuentran los tiempos de mantenimiento que están tardando los técnicos en sus operaciones con respecto al tiempo de ciclo ideal que tiene cada herramienta, para poder identificarlo de forma rápida, intervenir buscando el porqué de las demoras e implementar las mejoras pertinentes.

Tabla 52.

Hoja de vida indicador rendimiento

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|---|-----|---------------------------------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor | | | | | |
| Cargo | Supervisor | | | | | |
| Nombre del indicador | Rendimiento | | | | | |
| Código | IEN-M02 | | | | | |
| Objetivo | Medir la relación entre el uso del tiempo disponible con respecto al tiempo a los mantenimientos realizados y el tiempo de ciclo ideal para los mismos. | | | | | |
| Fórmula | $Rendimiento = \frac{Piezas\ producidas * TC\ Ideal}{Tiempo\ disponible}$ | | | | | |
| Rango | Mínimo | 60% | Cumplimiento | 80% | Meta | 95% |
| Fuentes de datos | Reporte de mantenimiento de cada área | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | | | Definición | | | |
| Piezas producidas | | | Output del mantenimiento de cada área | | | |
| TC Ideal | | | Tiempo ideal de la operación | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador rendimiento

4.4.1.c. Porcentaje de mantenimiento planificado. Este indicador dará una noción de las operaciones indirectas asociadas a las responsabilidades de los técnicos que no son consideradas como mantenimientos. Su principal propósito es identificar el porcentaje de tiempo que los técnicos deben destinar a otras actividades diferentes a los mantenimientos, pues en ocasiones deben realizar tareas asociadas a HSE, capacitaciones, materiales y demás, las cuales no son perceptibles para las personas

que son asociadas a la operación y no cuentan con un acercamiento al área de mantenimiento. La hoja vida del indicador se ilustra en la tabla 53.

Tabla 53.

Hoja de vida indicador Porcentaje de mantenimiento planificado

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|--------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor | | | | | |
| Cargo | Supervisor | | | | | |
| Tipo de indicador | Eficiencia | | | | | |
| Nombre del indicador | Porcentaje de mantenimiento planificado | | | | | |
| Código | IEN-M03 | | | | | |
| Objetivo | Medir la proporción de variación de actividades planeadas en las operaciones de mantenimiento. | | | | | |
| Fórmula | $PMP = \frac{\text{Tiempo planeado para el mto}}{\text{Total de horas de mto}}$ | | | | | |
| Rango | Mínimo | 60% | Cumplimiento | 70% | Meta | 80% |
| Fuentes de datos | Reunión de operaciones, resultados de cada área | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | | | Definición | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador Porcentaje de mantenimiento planificado

4.4.1.d. Tiempo medio de reparación .Este indicador permite estimar para cada área un promedio de reparaciones, lo cual facilitará la planeación de mantenimientos teniendo en cuenta los requerimientos de los clientes. En este caso serán tomado como base el requerimiento mínimo de 4 herramientas semanales, contemplando para el cumplimiento

y la meta 6 y 8 unidades de cada una respectivamente, teniendo en cuenta que puede haber clientes que soliciten unidades de respaldo en caso de incidencias en campo.

Tabla 54.

Hoja de vida indicador Tiempo medio de reparación

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | |
|---------------------------------|---|
| Área o proceso: | Sub área de la línea |
| Responsable del indicador | Supervisor |
| Cargo | Supervisor |
| Tipo de indicador | Eficiencia |
| Nombre del indicador | Tiempo medio de reparación |
| Código | IEN-M04 |
| Objetivo | Estimar el tiempo medio de reparación de las herramientas |
| Fórmula | $MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$ |
| Rango | Mínimo 4 Cumplimiento 6 Meta 8 |
| Fuentes de datos | Reunión de operaciones, resultados de cada área |
| Frecuencia de medición | Semanal |
| Frecuencia de revisión | Mensual |
| Vigencia | Trimestral |
| Observaciones | |
| | |
| Glosario | |
| Término | Definición |
| | |
| | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador tiempo medio de reparación

4.4.2. Indicadores de eficacia

Los indicadores de eficacia permiten medir el logro de los resultados propuestos. Para este caso se plantean: calidad, efectividad total de equipos productivos y calidad a la primera.

4.4.2.a. Calidad. Este indicador va asociado directamente a las fallas que puedan ocurrir durante el trabajo de la herramienta en campo. En este punto es importante considerar que hay fallas que pueden darse por condiciones físicas y eléctricas de la herramienta o condiciones de la operación que se salen del alcance del mantenimiento pero que pueden presentarse de forma ocasional. Por esta razón, en caso de presentarse una falla de la herramienta en campo debe esperarse a la investigación por parte del equipo de Calidad para determinar si fue una falla asociada al mantenimiento. La hoja de vida del indicador puede observarse en la Tabla 55.

Tabla 55.

Hoja de vida indicador calidad

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|--------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor - Gerente mantenimiento | | | | | |
| Cargo | Supervisor - Gerente mantenimiento | | | | | |
| Tipo de indicador | Eficacia | | | | | |
| Nombre del indicador | Calidad | | | | | |
| Código | IEC-M01 | | | | | |
| Objetivo | Evaluar la calidad de los mantenimientos realizados | | | | | |
| Fórmula | $Calidad = \frac{\text{Mantenimientos exitosos}}{\text{Total de mantenimientos realizados}}$ | | | | | |
| Rango | Mínimo | 80% | Cumplimiento | 90% | Meta | 95% |
| Fuentes de datos | Reunión de operaciones, mantenimientos de cada área | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | Definición | | | | | |
| Mantenimiento exitoso | Se considera exitoso cuando no ha requerido reproceso, ni presentado fallas en Campo | | | | | |
| | | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador calidad

4.4.2.b. Eficacia total de equipos productivos. Es un indicador clave en los procesos de mejora continua. Permitirá la identificación pérdidas productivas mediante la utilización de información en tiempo real, permitiendo activar acciones de mejora inmediata a todos los niveles.

Tabla 56.

Efectividad Total de Equipos Productivos

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|---|-----|--------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor | | | | | |
| Cargo | Supervisor | | | | | |
| Tipo de indicador | Eficacia | | | | | |
| Nombre del indicador | Efectividad total de equipos productivos | | | | | |
| Código | IEC-M02 | | | | | |
| Objetivo | Medir la efectividad de las operaciones | | | | | |
| Fórmula | <i>OEE = Rendimiento * Calidad * Disponibilidad</i> | | | | | |
| Rango | Mínimo | 85% | Cumplimiento | 90% | Meta | 95% |
| Fuentes de datos | Reunión de operaciones, mantenimientos de cada área | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | Definición | | | | | |
| Rendimiento | Relación entre los tiempos tomados para el mantenimiento con respecto al TC ideal | | | | | |
| Calidad | Relación de mantenimientos exitosos con respecto al total de mantenimientos realizados | | | | | |
| Disponibilidad | Proporción de tiempo utilizado en mantenimiento, teniendo en cuenta paradas imprevistas | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador Efectividad total de equipos productivos

4.4.2.c. Calidad a la primera. A través de su implementación se busca disminuir la mayor cantidad de reprocesos en la planta de mantenimiento, aunque deben ser considerados factores ajenos al trabajo desarrollados por los técnicos y pueden generar fallas en las operaciones.

Tabla 57.

Hoja de vida indicador Calidad a la primera

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|--------------|-----|------|-----|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor | | | | | |
| Cargo | Supervisor | | | | | |
| Tipo de indicador | Eficacia | | | | | |
| Nombre del indicador | Calidad a la primera | | | | | |
| Código | IEC-M03 | | | | | |
| Objetivo | Medir la proporción de reprocesos realizados en las operaciones. | | | | | |
| Fórmula | $FFT = \frac{\text{No. Total de piezas producidas} - \text{Fallas, reproceso}}{\text{No. Total de piezas producidas}}$ | | | | | |
| Rango | Mínimo | 85% | Cumplimiento | 90% | Meta | 95% |
| Fuentes de datos | Cifras de mantenimiento de cada área, reunión de operaciones | | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | | |
| Observaciones | | | | | | |
| Glosario | | | | | | |
| Término | Definición | | | | | |
| Fallas | Asociados a la falla de la herramienta durante su operación en campo | | | | | |
| Reproceso | Mantenimiento adicional que fue realizado en la base de mantenimiento, que pudo haber sido evitado | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador Calidad a la primera

4.4.3. Indicadores de productividad

Estos indicadores son utilizados para medir el desempeño y rendimiento de los procesos, personas y recursos. En este caso será implementado el indicador de

Productividad de la mano de obra, buscando evaluar el desempeño del personal en el taller.

4.4.3.a. Productividad de la mano de obra. Este indicador permitirá un seguimiento adecuado de los mantenimientos realizados por cada técnico, con el fin de identificar oportunidades de mejora asociadas al desempeño de los mismos como individuos. Los valores de mínimo, cumplimiento y meta dependerán de cada una de las áreas, teniendo en cuenta que los tiempos de los procesos varían dependiendo de la herramienta

Tabla 58.

Productividad de la mano de obra

| EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS | | | | | |
|---------------------------------|--|--|--------------|--|------|
| Área o proceso: | Sub área de la línea | | | | |
| Responsable del indicador | Supervisor | | | | |
| Cargo | Supervisor | | | | |
| Tipo de indicador | Productividad | | | | |
| Nombre del indicador | Productividad de la mano de obra | | | | |
| Código | IPROD-M01 | | | | |
| Objetivo | Cantidad de los mantenimientos realizados por los técnicos | | | | |
| Fórmula | $Productividad = \frac{Producción}{Horas\ hombre\ trabajadas}$ | | | | |
| Rango | Mínimo | | Cumplimiento | | Meta |
| Fuentes de datos | Cifras de mantenimiento de cada área, reunión de operaciones | | | | |
| Frecuencia de medición | Semanal | | | | |
| Frecuencia de revisión | Mensual | | | | |
| Vigencia | Trimestral | | | | |
| Observaciones | | | | | |
| | | | | | |
| Glosario | | | | | |
| Término | Definición | | | | |
| Producción | Cantidad de mantenimientos realizados | | | | |
| | | | | | |

Nota. La tabla muestra la hoja de vida del indicador Productividad de la mano de obra

De esta manera, la Tabla 59 sintetiza la hoja de vida de los indicadores a implementar en la presente investigación.

Tabla 59.

Hoja de vida indicadores

| | Nombre del indicador | Procedimiento de cálculo | Unidad | Sentido | Fuente de información | Frecuencia de toma de datos | Valor de potencialidad | Meta | Frecuencia de análisis | Responsable análisis |
|---------------|--|--|-----------------|-------------|---|-----------------------------|------------------------|------|------------------------|-----------------------------------|
| Eficiencia | Disponibilidad | $Disponibilidad = \frac{T. \text{ planificado} - \text{Paradas imprevistas}}{T. \text{ planificado}}$ | Porcentaje | Decreciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | 80% | 90% | Mensual | Supervisor, Mánager mantenimiento |
| Eficiencia | Rendimiento | $Rendimiento = \frac{\text{Piezas producidas} * TC \text{ Ideal}}{\text{Tiempo disponible}}$ | Porcentaje | Creciente | Reporte de mantenimiento de cada área | Semanal | 80% | 90% | Mensual | Supervisor del área |
| Eficiencia | Porcentaje mantenimiento planificado | $PMP = \frac{\text{Tiempo planeado para el mto}}{\text{Total de horas de mto}}$ | Porcentaje | Creciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | 70% | 80% | Mensual | Supervisor del área |
| Eficiencia | Tiempo medio de reparación | $MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$ | Horas | Decreciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | | | Mensual | Supervisor del área |
| Eficacia | Calidad | $Calidad = \frac{\text{Mantenimientos exitosos}}{\text{Total de mantenimientos realizados}}$ | Porcentaje | Creciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | 90% | 95% | Mensual | Supervisor, Mánager mantenimiento |
| Eficacia | Efectividad total de equipos productivos | $OEE = Rendimiento * Calidad * Disponibilidad$ | Porcentaje | Creciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | 90% | 95% | Mensual | Supervisor del área |
| Eficacia | Calidad a la primera | $FFT = \frac{\text{No. Total de piezas producidas} - \text{Fallas, reproceso}}{\text{No. Total de piezas producidas}}$ | Porcentaje | Creciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | 90% | 95% | Mensual | Supervisor, Mánager mantenimiento |
| Productividad | Productividad de la mano de obra | $Productividad = \frac{\text{Producción}}{\text{Horas hombre trabajadas}}$ | Unidades / Hora | Creciente | Reunión de operaciones, resultados de mantenimiento | Semanal | | | Mensual | Supervisor del área |

Nota. La tabla sintetiza los indicadores propuestos

5. CONCLUSIONES

El diagnóstico de las operaciones de mantenimiento en la empresa en estudio permitió el entendimiento de los diferentes procesos realizados en cada una de las áreas a través de la esquematización de los mismos, así como la identificación de oportunidades de mejora evidenciadas en los diagramas de Ishikawa y los desperdicios LEAN, las cuales fueron abordadas en la presente investigación.

La generación de un plan de acción tomando como base las herramientas LEAN Manufacturing como lo son las 5S, Andon y Kanban permitieron abordar las problemáticas identificadas en el objetivo anterior, generando soluciones bajo el principio alto impacto – bajo costo.

La evaluación y rediseño de la distribución de planta actual mediante la metodología SLP permitió el establecimiento de las relaciones entre las distintas áreas de trabajo para el taller, obteniendo un diseño de planta final propuesto que disminuirá el traslado del personal durante sus operaciones.

El establecimiento de los indicadores claves de desempeño para medir la eficacia, eficiencia y productividad de las operaciones permitirá realizar un seguimiento riguroso de las propuestas planteadas en la presente investigación, permitiendo su constante evaluación y perduración en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

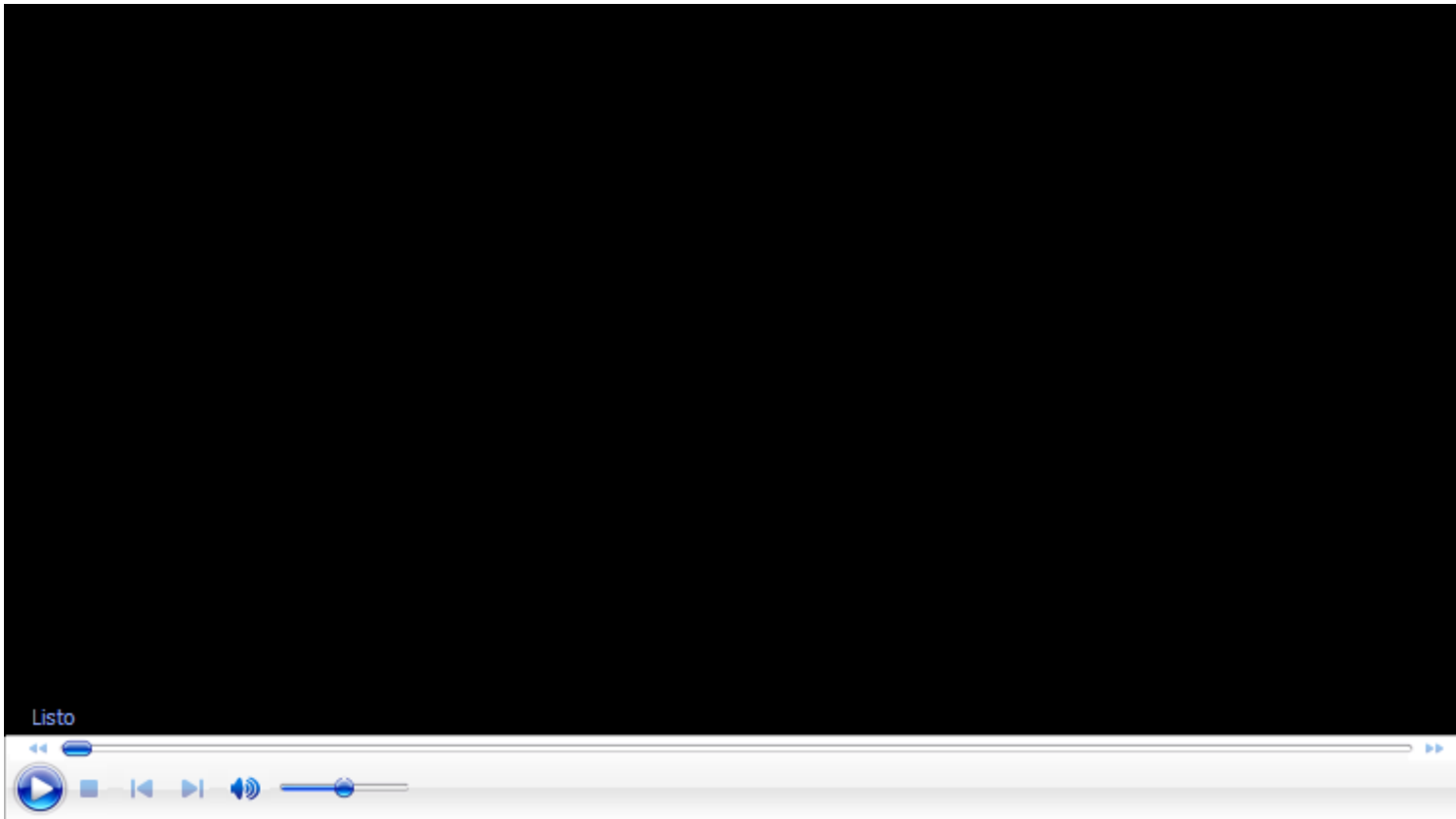
- [1] CEPAL, «La volatilidad de los precios del petróleo y su impacto en América Latina,» *División de recursos naturales e infraestructura*, p. 77, 2005.
- [2] Campetrol, *Balance petrolero. Cierre 2019 e incertidumbre 2020*, Bogotá D.C.: Campetrol, 2019.
- [3] El Espectador, *Proveedores petroleros, contra la pared*, Bogotá D.C.: Economía, 2015.
- [4] Halliburton.
- [5] Diario La República, *Sector de servicios para la industria petrolera perderá un millón de empleos por la crisis*, Bogotá D.C.: La República, 2020.
- [6] PROPYMES, *Ingeniería de Mantenimiento. Análisis de fallas.*, Programa de Gestión del Mantenimiento (PGM), 2014.
- [7] INSHT, *La carga física de trabajo*, 2013.
- [8] V. P. Miroslava Míkva, «Standardization – One of the Tools of Continuous Improvement,» *Procedia Engineering*, vol. 149, pp. 329-332, 2016.
- [9] M. Guy, «Maintenance Management,» *Facility Integrity Management*, pp. 87 - 139, 2019.
- [10] M. M. Mohamed Er-Ratby, «Optimization of the Maintenance and Productivity of Industrial Organization,» *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, n° 8, pp. 6315-6324, 2018.
- [11] L. Dekler, «The origins and Evolution of LEAN management System,» *Journal of International Studies*, vol. 5, n° 12, pp. 45-61, 2017.
- [12] A. Fernandez, *Systematic Layout Planning*, Buenos Aires, 2018.
- [13] F. L. I. U. S. L. Planning, *Chee Ailing*, Malaysia: University Tecknologi Malaysia, 2019.
- [14] H. L. Gustav Fredriksson, *An Analysis of maintenance strategies and development of a model for strategy formulation*, Gotebrg: Chalmers University of Technology, 2015.
- [15] *Lean Maintenance Applied to Improve Maintenance Efficiency in Thermoelectric Power Plants*, MPDI Energies, 2017.
- [16] L. R. Diego Manotas, «LEAN MANUFACTURING MEASUREMENT: THE RELATIONSHIP BETWEEN LEAN ACTIVITIES AND LEAN METRICS,» *Estud. Gerenc.*, vol. 23, n° 105, pp. 69-83, 2017.
- [17] S. Z. J. Q. Mariela Rabanal, «Systematic Layout Plannning: A research on the third party logistics of a Peruvian Company,» *International Conference on Human interaction and Engineering*, vol. 3, n° 04, pp. 988-993, 2019.

- [18] A. S. Uzair Thakur, «Efficiency Enhancement using Systematic Layout Planning to Reduce the Overall Travelling Cost,» *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, nº 05, 2019.
- [19] G. I. Hana Pacaiova, «Base principles and practices for implementation of Total Productive Maintenance n Automotive Industry,» *Quality Innovation Prosperity*, vol. 23, nº 1, pp. 45-51, 2019.
- [20] M. H. Bambang Suhardi, «Implementation of Value Stream Mapping to reduce wastes in a textile products industry,» *International Journal of Production Research*, vol. 7, nº 1, pp. 1-25, 2020.
- [21] X. L. Hanwen Liu, «A study of the layout planning of plant facility based on the timed Petri net and systematic layout planning,» *PLOS ONE*, vol. 15, nº 9, pp. 1-23, 2020.
- [22] E. A. Calvo, *VOLUMEN I: TEORÍA GENERAL DEL MANTENIMIENTO Y DE LA FIABILIDAD*, Santander: ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA, 2017.
- [23] M. B. M. Abella, *Mantenimiento industrial*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- [24] O. G. Palencia, «Gestión Integral de Mantenimiento Basada en Confiabilidad,» de *Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad Operacional*, Chile , 2007.
- [25] A. Schokry, *Introduction to Maintenance*, Palestine: Islamic University of Gaza , 2012.
- [26] P. S. Bram de Jonge, «A review on maintenance optimization,» *European Journal of Operational Research*, vol. 285, nº 3, pp. 805-824, 2020.
- [27] A. Kulkarni, *Introduction to optimization*, 2017.
- [28] G. Carvajal, «OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION PLAN. CASE STUDY ALUMINUM CARPENTRY,» *Revista científica de la universidad de cienfuegos*, vol. 9, nº 1, pp. 178-186, 2017.
- [29] J. Rothstein, «Creating lean industrial relations: general motors in Silao, Mexico,» *Competition and change*, vol. 8, nº 3, pp. 203-221, 2004.
- [30] G. Alukal, «Create a lean, mean machine,» *Quality Progress*, vol. 6, nº 34, pp. 29-34, 2003.
- [31] J. Liker, *Becoming Lean*, Productivity Press, Portland, OR., Portland, 1996.
- [32] M. C. Taj S., «he impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance,» *International Journal of Technology Management*, vol. 2, nº 22, pp. 223-240, 2011.
- [33] R. Muther, «Distribución de planta,» de *Distribución en Planta*.
- [34] A. Chaese, «Distribución de instalaciones,» de *Administración de producción y operaciones*, Mc Graw Hill, p. 374.

- [35] Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C., *Diseño de sistemas productivos y logísticos*, Tema 4.
- [36] M. A. Juan Cristobal Bonnefoy, *Indicadores de desempeño en el sector público*, Santiago de Chile: CEPAL, 2005.
- [37] DANE, *Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores*, Colombia.
- [38] CONEVAL, *strucción de indicadores Manual para el diseño y Instrumentos principales la construcción de indicadores para el monitoreo Instrumentos principales de programas para el monitoreo sociales de México de programas sociales de México*, México, 2014.
- [39] C. Aedo, *Modelo multifactorial para optimización de la productividad en el proceso de generación de energía eléctrica: aplicación al caso de las centrales hidroeléctricas venezolanas. Industriales.*, Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas, 2005.
- [40] S. Quijano, *Modelo multifactorial para optimización de la productividad en el proceso de generación de energía eléctrica: aplicación al caso de las centrales hidroeléctricas venezolanas. Industriales.*, Barcelona: Icaria , 2006.
- [41] ISO 9000, 2008.
- [42] D. Summanth, «Grado en que las salidas actuales corresponde con las deseadas [42],» McGraw Hill, 1990.
- [43] H. Gutierrez, «Calidad total y productividad,» México D.F., McGraw Hill , 2005.
- [44] J. D. D. Castro, *Grado en que las salidas actuales corresponde con las deseadas [42]*, Madrid: Pirámide, 2002.
- [45] C. Mallo y J. Merlo, de *Modelo multifactorial para optimización de la productividad en el proceso de generación de energía eléctrica: aplicación al caso de las centrales hidroeléctricas venezolanas. Industriales.*, España, Modelo multifactorial para optimización de la productividad en el proceso de generación de energía eléctrica: aplicación al caso de las centrales hidroeléctricas venezolanas. Industriales., 1995.
- [46] Organización para la Cooperación Económica Europea, *Productividad*, 1950.
- [47] M. Sladogna, *PRODUCTIVIDAD- DEFINICIONES Y PERSPECTIVAS PARA LA NEGOCIACIÓN COLECTIVA*, 2017.
- [48] S. Tangen, "An overview of frequently used performance measures", 2003.
- [49] «Productivity: Concepts, measurement & performance,» *Queensland Productivity Commission*, 2016.
- [50] F. Niebel, *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*, Alfaomega.
- [51] L. Socconini, *LEAN Six Sigma Yellow Belth*, Barcelona: Alfaomega, 2019.
- [52] A. Y. Miluska, *Integración LEAN Manufacturing y Seis Sigma*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

- [53] S. Meneses, Diseño de Instalaciones de manufactura y manejo de materiales - Edición 3, Pearson, 2006.
- [54] J. M. B. Jaramillo, Indicadores de gestión - Herramientas para lograr la competitividad, Bogotá: 3R Editores, 2012.
- [55] CAR, *Normativas Residuos Peligrosos*, Gobierno de Colombia.

ANEXO 1.
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ACTUAL



ANEXO 2.
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PROPUESTA

