



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Aplicación de herramientas Lean y DMAIC para mejoras en
el segmento Drilling and Measurements de Schlumberger
del Perú S.A.**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

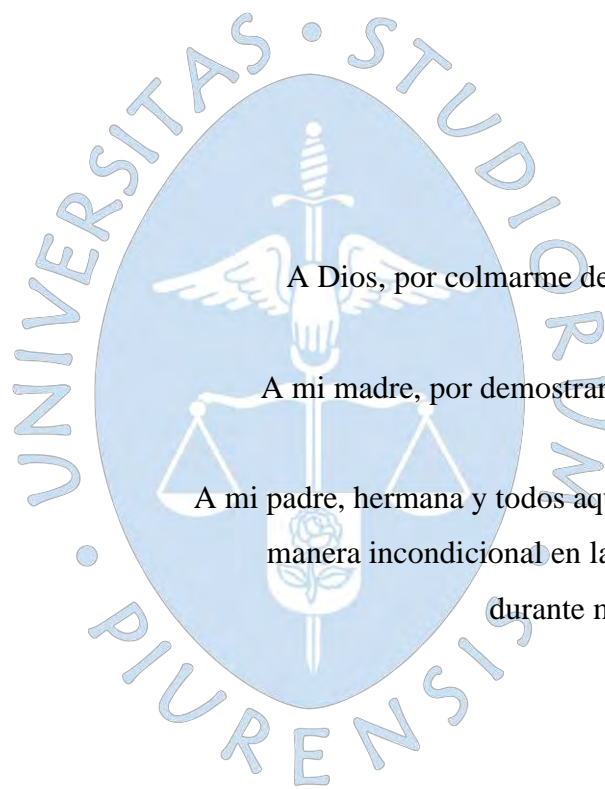
Josymar Dassaev Sirlupu Zapata

Asesores:

**Dr. Ing. Francisco Martín Palma Lama;
Ing. Santos Manuel Calderón Cabanillas**

Piura, febrero de 2020





A Dios, por colmarme de bendiciones y ser mi guía espiritual siempre.

A mi madre, por demostrar lucha y fuerza frente a las adversidades.

A mi padre, hermana y todos aquellos que me apoyaron de manera incondicional en la realización de esta tesis y durante mi crecimiento profesional.



Resumen Analítico-Informativo

Aplicación de herramientas Lean y DMAIC para mejoras en el segmento Drilling and Measurements de Schlumberger del Perú S.A.

Josymar Dassaev Sirlupu Zapata

Dr. Ing. Francisco Martín Palma Lama; Ing. Santos Manuel Calderón Cabanillas

Tesis

Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería

Piura, febrero de 2020

Palabras claves: Schlumberger/ Drilling and Measurements/ Lean/ DMAIC/ desperdicios/ mejoras.

Introducción: En el departamento de mantenimiento (TLM) del segmento Drilling and Measurements de Schlumberger del Perú S.A. existían muchos desperdicios que no generaban valor agregado y originaban tiempos no efectivos. Lo que implicaba que los trabajadores realicen sus labores de mantenimiento en un tiempo mayor y que en su mayoría estén descontentos.

Metodología: Método tradicional dividido en capítulos, el informe se realizó en cuatro etapas: primero, la obtención de datos referentes a la empresa Schlumberger, sus ámbitos de operación, enfoque en el segmento D&M, detalle de sus actividades, herramientas, tecnología y personal a cargo; segundo, definición de las metodologías Lean y DMAIC, sus herramientas y beneficios que generaría aplicar ambas; tercero, la etapa de desarrollo donde se efectuaron diversos estudios en el laboratorio y taller de D&M con el fin de recolectar datos de la situación actual, para posteriormente, aplicar Lean y DMAIC para solucionar los problemas encontrados; por último, se hace el cálculo estimado de los ahorros económicos al haber implementado este proyecto, mediante un breve análisis financiero fundamentado. Asimismo, el cálculo final de la eficiencia en el mantenimiento de las diversas herramientas empleadas para perforación.

Resultados: Gracias a las metodologías Lean y DMAIC, se obtuvo una distribución con trayectos más cortos y un personal consciente que con un lugar de trabajo ordenado, se puede realizar las labores de mantenimiento en menos tiempo y de acuerdo con el estándar.

Conclusiones: Aplicar las herramientas que ofrecen las metodologías Lean & DMAIC, nos ayudó a que, de manera estructurada y lógica, se eliminen aquellos desperdicios identificados en D&M, logrando atacar desde la causa raíz hasta la generación de un control de las mejoras implementadas. Ahora, al tener el laboratorio y taller de D&M mucho más ordenado, ayudó mucho al personal técnico para que realicen sus labores de mantenimiento, sin tener tiempos muertos que perjudiquen el proceso.

Fecha de elaboración del resumen: 27 de octubre del 2019

Analytical-Informative Summary

Aplicación de herramientas Lean y DMAIC para mejoras en el segmento Drilling and Measurements de Schlumberger del Perú S.A.

Josymar Dassaev Sirlupu Zapata

Dr. Ing. Francisco Martín Palma Lama; Ing. Santos Manuel Calderón Cabanillas

Tesis

Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería

Piura, febrero de 2020

Keywords: Schlumberger/ Drilling and Measurements/ Lean/ DMAIC/ wastes/ improvements.

Introduction: In the maintenance department (TLM) of the Drilling and Measurements segment of “Schlumberger del Perú S.A.” there were many wastes that did not generate added value and caused ineffective times. Which implied that workers perform their maintenance work in a longer time and that they are mostly unhappy.

Methodology: Traditional method divided into chapters, the report was carried out in four stages: first, obtaining data regarding the Schlumberger company, its areas of operation, focus on the D&M segment, details of its activities, tools, technology and personnel in charge; second, definition of the Lean and DMAIC methodologies, their tools and benefits that both would generate; third, the development stage where various studies were carried out in the D&M laboratory and workshop in order to collect data on the current situation, and then apply Lean and DMAIC to solve the problems encountered; finally, is made the estimated calculation of the economic savings by having implemented this project, by means of a brief financial analysis. Also, the final calculation of the maintenance efficiency of the various tools used for drilling.

Results: Thanks to the Lean and DMAIC methodologies, a distribution was obtained with shorter journeys and movements and a conscious staff that with an orderly workplace, maintenance work can be performed in less time and in accordance with the standards.

Conclusions: Applying the tools offered by the Lean & DMAIC methodologies, helped us in a structured and logical way, to eliminate those wastes identified in D&M, managing to attack from the root cause until the generation of a control of the implemented improvements. Now, having the D&M laboratory and workshop more organized, it helped the technical staff a lot to carry out their maintenance work, without having downtimes that could damage the process.

Summary date: October 27, 2019

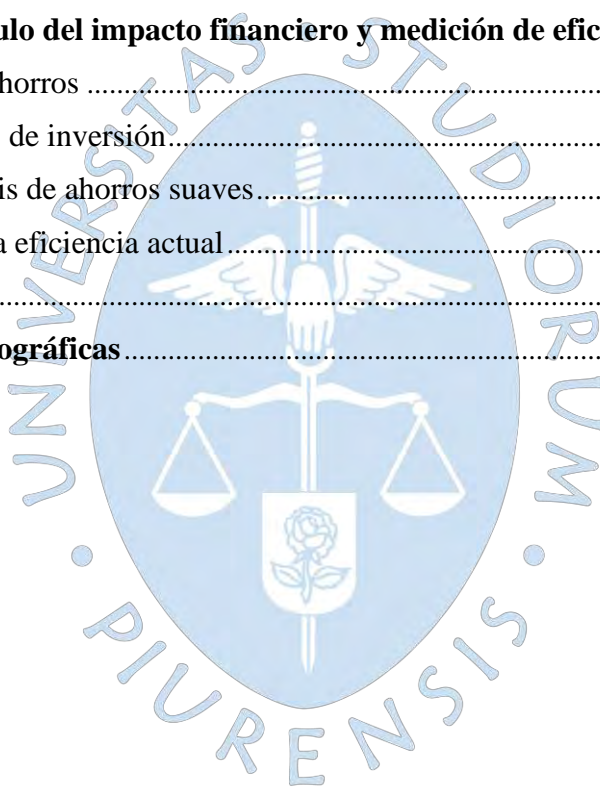
Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1 <i>Drilling and Measurements</i> de Schlumberger	3
1.1. Descripción de la compañía.....	3
1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa.....	3
1.1.2. Posición dentro del proceso comercial del crudo.....	6
1.1.3. Segmentos de Schlumberger presentes en Perú.....	8
1.2. Segmento <i>Drilling and Measurements</i>	9
1.2.1. Descripción del segmento.....	9
1.2.2. Servicios dentro del segmento.....	9
1.2.2.1. <i>Measurements While Drilling (MWD)</i>	9
1.2.2.2. <i>Logging While Drilling (LWD)</i>	10
1.2.2.3. <i>Rotary Steerable System (RSS)</i>	10
1.2.2.4. <i>Surface</i>	10
1.2.2.5. <i>Powerpak</i>	11
1.2.3. Departamento de Mantenimiento: <i>Technology Lifecycle Management (TLM)</i>	11
Capítulo 2 Visión general de Lean y de metodología DMAIC	13
2.1. Historia de Lean.....	13
2.2. Definición Lean.....	15
2.3. Desperdicios en las empresas.....	16
2.3.1. DOWNTIME.....	16
2.4. Herramientas Lean.....	19

2.5. DMAIC.....	20
2.5.1. Definir (D)	20
2.5.1.1. <i>Project definition/ Project Charter</i>	21
2.5.1.2. SIPOC.....	23
2.5.2. Medir (M).....	24
2.5.2.1. Colección de datos.....	24
2.5.2.2. Diagrama Spaghetti	25
2.5.2.3. <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	26
2.5.3. Analizar (A).....	28
2.5.3.1. Análisis causa raíz.....	28
2.5.3.2. Diagrama <i>Ishikawa</i> o de causa-efecto	29
2.5.3.3. Diagrama de Pareto	30
2.5.4. Mejorar (I).....	31
2.5.4.1. 5S.....	31
2.5.4.2. Diseño Lean.....	33
2.5.4.3. TPM.....	33
2.5.4.4. <i>Kanban</i>	35
2.5.4.5. <i>Jidoka</i>	36
2.5.4.6. Eventos <i>Kayzen</i>	36
2.5.5. Controlar (C).....	37
2.5.5.1. <i>Poka Yoke</i>	37
2.5.5.2. Auditorías y plan de control.....	38
2.5.5.3. Gestión Visual.....	38
2.6. Ventajas de aplicar Lean DMAIC.....	39

Capítulo 3 Implementación de metodología Lean y DMAIC en el departamento de Mantenimiento de D&M Talara	41
3.1. Análisis y detección de falencias en la distribución actual.....	41
3.1.1. Definición del problema.....	41
3.2. Disposición actual	46
3.2.1. Colección de datos mediante Diagrama Spaguetti	48
3.2.2. VSM de cada herramienta.....	67
3.3. Análisis del desplazamiento: determinación de causas.....	82

3.4. Desarrollo de mejoras en el segmento.....	85
3.4.1.Diseño Lean.....	85
3.4.2.5S en el área de trabajo.....	95
3.4.3.Eventos <i>Kayzen</i>	103
3.4.4. <i>Poka Yoke</i>	108
3.5. Control.....	110
3.5.1.Auditorías 5S.....	110
3.5.2.Gestión Visual.....	113
Capítulo 4 Cálculo del impacto financiero y medición de eficiencia actual	117
4.1. Cálculo de ahorros.....	117
4.1.1.Costos de inversión.....	118
4.1.2.Análisis de ahorros suaves.....	120
4.2. Cálculo de la eficiencia actual.....	130
Conclusiones.....	147
Referencias Bibliográficas.....	149





Lista de Tablas

Tabla 1. Segmentos de SLB presentes en Perú	8
Tabla 2. Equipo de trabajo	44
Tabla 3. Herramientas de mano faltantes por área	103
Tabla 4. Costo de tercerización de Operador de montacargas y Rigger	107
Tabla 5. Costo de Inversión en Herramientas de mano	118
Tabla 6. Costo de inversión en tapetes	119
Tabla 7. Costo de Inversión en Karcher	119
Tabla 8. Costo de tercerización de servicio de montacargas y rigger	120
Tabla 9. Costo de mano de obra	120
Tabla 10. Tiempo aproximado de mantenimientos	121
Tabla 11. Número de servicios de mantenimiento por año	121
Tabla 12. Días empleados para mantenimientos en un año	122
Tabla 13. Cálculo de tiempo perdido por día	122
Tabla 14. Tiempo perdido en el mantenimiento por búsqueda de herramientas de mano	123
Tabla 15. Tiempo de espera aproximado por herramienta	124
Tabla 16. Número de servicios de mantenimiento en general por año	124
Tabla 17. Tiempo perdido por esperar disponibilidad de Karcher	125
Tabla 18. Tiempo empleado para la operación de montacargas y rigger	126
Tabla 19. Tiempo de espera aproximado por herramienta	126
Tabla 20. Tiempo perdido por esperar disponibilidad de operador de montacargas	127
Tabla 21. Tiempo ahorrado con diseño Lean	128
Tabla 22. Tiempo ahorrado por año con diseño Lean	128

Tabla 23. Porcentaje de aumento de eficiencia de todas las herramientas..... 145



Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso general del petróleo	7
Figura 2. Fases de DMAIC	20
Figura 3. Pasos de SIPOC	23
Figura 4. Pasos para elaborar Diagrama Spaghetti	26
Figura 5. Símbolos de VSM	27
Figura 6. Ejemplo de VSM	28
Figura 7. Proceso de la técnica 5 Por qué	29
Figura 8. Visión general de diagrama Ishikawa	30
Figura 9. Diagrama de Pareto	31
Figura 10. Ejemplo de aplicación de Poka Yoke	38
Figura 11. SIPOC de Technology Lyfecycle Managment (TLM)	42
Figura 12. Diagrama de Gantt del Proyecto	45
Figura 13. Plano de Laboratorio de D&M	46
Figura 14. Taller de D&M	47
Figura 15. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de equipos de Surface	49
Figura 16. Diagrama Spaguetti del área Surface	50
Figura 17. Fotografía del área Surface	50
Figura 18. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de PowerDrive de RSS	52
Figura 19. Diagrama Spaguetti del área RSS	53
Figura 20. Fotografía del área RSS	53
Figura 21. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de TeleScope en MWD Mechanic	55
Figura 22. Diagrama Spaguetti del área MWD Mechanic	56

Figura 23. Fotografía del área de MWD Mechanic	56
Figura 24. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de TeleScope en MWD Electronic	58
Figura 25. Diagrama Spaguetti del área MWD Electronic	59
Figura 26. Fotografía del área de MWD Electronic.....	59
Figura 27. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de arcVision en LWD.....	61
Figura 28. Diagrama Spaguetti del área LWD	62
Figura 29. Fotografía del área de LWD	62
Figura 30. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de Powerpak en Taller.....	64
Figura 31. Diagrama Spaguetti de Powerpak en Taller	65
Figura 32. Fotografía lateral derecha del taller	66
Figura 33. Fotografía lateral izquierda del taller.....	66
Figura 34. Reunión y elaboración de VSM de Powerpak.....	67
Figura 35. VSM de Powerpak.....	68
Figura 36. VSM de Powerpak.....	69
Figura 37. Reunión y elaboración de VSM de Surface.....	70
Figura 38. VSM de Surface.....	71
Figura 39. Reunión y elaboración de VSM de TeleScope.....	72
Figura 40. VSM de TeleScope.....	73
Figura 41. VSM de TeleScope.....	74
Figura 42. Reunión y elaboración de VSM de arcVision.....	75
Figura 43. VSM de arcVision	76
Figura 44. VSM de arcVision	77
Figura 45. Reunión y elaboración de VSM de PowerDrive.....	78
Figura 46. VSM de PowerDrive.....	79
Figura 47. VSM de PowerDrive.....	80
Figura 48. VSM de PowerDrive.....	81
Figura 49. Diagrama de análisis causa-raíz.....	82
Figura 50. Diagrama de análisis causa- raíz de diversos problemas.....	83
Figura 51. Diagrama de análisis causa- raíz de diversos problemas.....	84
Figura 52. Área de Surface rediseñada.....	85

Figura 53. Fotografía de Surface rediseñada.....	86
Figura 54. Área de RSS rediseñada.....	87
Figura 55. Fotografía de RSS rediseñada.....	87
Figura 56. Área de MWD Mechanic rediseñada.....	88
Figura 57. Fotografía de MWD Mechanic rediseñada.....	89
Figura 58. Área de MWD Electronic rediseñada.....	90
Figura 59. Fotografía de MWD Electronic rediseñada.....	90
Figura 60. Área de LWD rediseñada.....	91
Figura 61. Movimiento de multímetros y special tools en LWD.....	92
Figura 62. Movimiento de estación de soldadura en LWD.....	92
Figura 63. Taller rediseñado.....	93
Figura 64. Fotografía con vistas laterales del Taller rediseñado.....	94
Figura 65. Fotografía con vista general del Taller rediseñado.....	94
Figura 66. Evidencia de falta de clasificación de cajoneras.....	95
Figura 67. Evidencia de falta de clasificación de tubulares en racks.....	96
Figura 68. Compromiso del personal para clasificar y desechar lo innecesario.....	96
Figura 69. Organización, orden, etiquetado y delimitación de cajoneras de cables.....	97
Figura 70. Organización, orden y etiquetado de tubulares en rack.....	98
Figura 71. Organización y orden de gabinetes.....	99
Figura 72. Antes y Después. Limpieza en escritorio.....	99
Figura 73. Antes y Después. Limpieza en mesas de trabajo.....	100
Figura 74. Limpieza del taller de D&M.....	101
Figura 75. Ejemplo de checklist para el área MWD Electronic.....	101
Figura 76. Resultados y evolución de 5S en las áreas.....	102
Figura 77. Órdenes de compra de herramientas de mano.....	104
Figura 78. Órdenes de compra de herramientas de mano.....	105
Figura 79. Orden de compra de Karcher para zona de lavado.....	106
Figura 80. Antes y después de implementar Poka Yoke con shadowboards para los estantes y carritos de configuración.....	108
Figura 81. Antes y después de implementar Poka Yoke con shadow boards para las mesas de trabajo.....	109

Figura 82. Cronograma de cumplimiento de auditoría 5S	110
Figura 83. Hoja Excel de auditoría 5S realizada al área MWD	111
Figura 84. Radar de la auditoría 5S del área MWD	112
Figura 85. Ejemplo de Reporte de Auditoría 5S para el área de MWD en plataforma Quest	112
Figura 86. Prueba de cumplimiento de auditorías 5S al reportarse en Quest por los técnicos ...	113
Figura 87. Gestión visual en áreas RSS y MWD Mechanic	113
Figura 88. Gestión visual en áreas MWD Electronic y LWD.....	114
Figura 89. Gestión visual en áreas Surface y Powerpak (Taller)	114
Figura 90. Gestión visual en Oficinas	115
Figura 91. Algunas fotografías de responsables en mesas de trabajo	115
Figura 92. Algunas fotografías de responsables en estantes	116
Figura 93. Costo de mano de obra para la realización del mantenimiento de las herramientas ..	123
Figura 94. VSM actual de Powerpak	131
Figura 95. VSM actual de Powerpak	132
Figura 96. VSM actual de Surface	134
Figura 97. VSM actual de TeleScope.....	136
Figura 98. VSM actual de TeleScope.....	137
Figura 99. VSM actual de arcVision.....	139
Figura 100. VSM actual de arcVision.....	140
Figura 101. VSM actual de PowerDrive	142
Figura 102. VSM actual de PowerDrive.....	143
Figura 103. VSM actual de PowerDrive.....	144

Introducción

El presente proyecto de tesis se desarrolla en una empresa trasnacional que opera en Perú y tiene su base en la ciudad de Talara. Drilling and Measurements (D&M) es uno de los segmentos de esta empresa que ofrece servicios de perforación y mediciones para las operaciones en los yacimientos petroleros.

En el departamento de mantenimiento de D&M surgió la necesidad de retomar la metodología Lean, la cual se dejó de emplear aproximadamente en el año 2013 tras la baja de petróleo y la salida de personal.

Así es como se abre la plaza de practicante de D&M, donde una de las actividades a realizar es aplicar esta metodología. Al ocupar este puesto y luego de recibir capacitaciones en línea con módulos que ofrece la empresa, se pudieron definir las diversas problemáticas que atravesaba el laboratorio y taller.

Después de analizar las causas y de exponer esta problemática a los trabajadores, se generó un plan de implementación de mejoras con el aporte y ayuda de todo el personal de mantenimiento, ello consistía en rediseños, movimiento de cosas, orden y limpieza (5S) y sobre todo, el compromiso de todos para mantener y controlar las innovaciones.

Asimismo, el presente proyecto expresa el análisis detallado de las operaciones de mantenimiento desarrolladas en D&M y los tiempos que éstas conllevan, con el fin que la eficiencia aumente luego de desarrollar las mejoras.

Finalmente, con todo lo detallado, se puede afirmar que esta tesis representa las pruebas de los planes de acción puestos en marcha durante mi periodo de prácticas profesionales.



Capítulo 1

Drilling and Measurements de Schlumberger

En el primer capítulo se explicará el panorama actual de la empresa Schlumberger, su desarrollo a lo largo de la historia, los ámbitos de operación y los países donde realizan actividades.

Se ha enfatizado en dos puntos, el primero trata de las operaciones que efectúa el segmento *Drilling and Measurements* en Perú, el segundo, las sub-áreas que lo conforman y las herramientas y tecnología que utilizan.

El último punto es necesario, debido a que se debe conocer el tipo de herramientas que se tiene y las labores de mantenimiento que se deben realizar para mantenerlas operativas.

1.1. Descripción de la compañía

1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa

Un resumen obtenido de la página web Schlumberger Limited (s.f.), indica que la empresa fue fundada en el año 1926 por los hermanos Conrad y Marcel Schlumberger, quienes contaban con experiencia en el estudio geofísico debido a que realizaron investigaciones en países como Serbia, Canadá, Sudáfrica, Congo y Estados Unidos.

Inicialmente Schlumberger, se dedicó a realizar prospecciones de superficie para la industria de minerales de metal, pero extendió gradualmente sus actividades para abarcar la exploración de posibles estructuras petroleras.

Su trabajo consistía en medir la resistividad directamente con una sonda eléctrica, en pozos perforados a través de las formaciones.

El primer intento de realizar aquello fue en 1927, en un pozo de 500 metros de profundidad en Pechelbron en la región de Alsacia, Francia. A los resultados de la encuesta de profundidad múltiple se le denominó Registro de Resistividad Eléctrica del Pozo.

El registro mostró que las mediciones eléctricas tomadas en las perforaciones podrían ayudar a identificar las formaciones geológicas a su alrededor. De manera efectiva, las personas pudieron "ver" lo que estaba abajo en el pozo, y debido a que las grabaciones de resistividad demostraron ser repetibles en los pozos vecinos, fue posible habilitar la correlación precisa de formaciones en todo un campo.

Es así como las técnicas de registro fueron mejorando y se introdujo la grabadora manual de grabación continua, que permitió trazar un registro continuo de resistividad de la formación mientras la sonda se retiraba constantemente del agujero.

Esto fue seguido por otro avance, la entrada del registro de Potencial Espontáneo (SP). La medición del SP, producido naturalmente por el lodo de perforación en los límites de los lechos permeables, proporcionó una manera de distinguir la roca permeable, capaz de contener un reservorio, de la roca impermeable, a través de la cual era difícil para los fluidos fluir.

A pesar de que la Segunda Guerra Mundial frenó inevitablemente la rápida propagación de la tecnología de registro, Schlumberger, continuó haciendo avances significativos durante la década de 1940. A medida que la compañía se expandió a nivel mundial, adquirió un número cada vez mayor de reclutas locales, proporcionando la diversidad cultural que todavía define el carácter de la compañía en la actualidad.

Para la década 50, los esfuerzos de desarrollo se centraban en dos tipos de sondas electrónicas sofisticadas. El primer tipo fue capaz de tomar medidas de alta resolución cerca de la pared del pozo y en lechos muy delgados. El segundo tipo, el registro de inducción, tomó medidas más lejos del pozo en áreas de la formación que no se vieron afectadas por la presencia del pozo, lo que lo hace adecuado para pozos perforados con fluidos a base de petróleo.

Schlumberger fortaleció sus operaciones a través de reestructuraciones y adquisiciones estratégicas, así fue creada Schlumberger Limited, como una sociedad de cartera registrada en Curazao en 1956. Henri Doll fue nombrado como primer presidente de la Junta de Schlumberger Limited y, tres años después de la muerte de Marcel Schlumberger, su hijo Pierre Schlumberger se convirtió en presidente.

En 1956, debido a la rápida expansión de la empresa y la alta demanda de sus servicios, la compañía instigó la práctica de asignar personal técnico superior para apoyar a los jóvenes ingenieros de campo, razón por la cual se designó a Roger Jost, quien estuvo en Pechelbronn en 1927, a cargo del departamento que se dedicó a inspeccionar equipos, dilucidar dudas y probar equipos antes de que se implementen. Un soporte con el que se cuenta en la actualidad.

Cabe resaltar que Schlumberger fue participe en la carrera espacial que tomó lugar en la década de los 60's y que culminó en el aterrizaje lunar del Apolo 11 en 1969. La compañía proporcionó máquinas calculadoras de alta confiabilidad a la NASA y aún proporciona sensores para la exploración espacial en la actualidad.

En los años 70, la compañía desarrolló herramientas de software e implementaron el internet a sus procesos; es así como los datos de registro se pueden transmitir desde el campo, no solo por teléfono, sino también por satélite. En 1977, el primer camión de registro equipado con una computadora ingreso al campo como parte de la Unidad de Servicio Cibernético (CSU).

Otros movimientos estratégicos durante la década de los 80, incluyeron la fusión de Flopetrol con el grupo *Wireline* para crear Schlumberger *Wireline & Testing*.

El primer trabajo de mediciones durante la perforación (MWD) se completó en 1980, en el Golfo de México, combinando elementos de registro por cable con transmisión de datos en tiempo real. La primera herramienta de registro durante la perforación (LWD) se introdujo en 1988, midiendo las propiedades de formación antes de que la exposición a los fluidos de perforación tomara su peaje. Más adelante, MWD y LWD se volvieron parte del segmento *Drilling and Measurements*.

Con el pasar de los años, la empresa integró a otras compañías de gran prestigio, aumentando los servicios que ofrecía y convirtiéndose en una empresa de carácter multidisciplinario.

Schlumberger lanzó la Gestión Integrada de Proyectos (IPM) en 1995, que en la actualidad continúa brindando la experiencia y los procesos necesarios para mejorar el rendimiento y aumentar la eficiencia al integrar todos los servicios y tecnologías de campos petroleros que necesita un proyecto.

Actualmente, Schlumberger se encuentra presente en más de 80 países, con personal de 140 naciones enrolados en sus filas, destacándose de las demás empresas del mismo rubro por la

rigurosidad de sus procesos, la aplicación de sus propios estándares y la calidad de su servicio, y operando desde los desiertos de Abu Dhabi hasta la selva del Congo, desde locaciones remotas en Rusia hasta las plataformas del Golfo de México.

En el Perú, cuenta con más de 80 años de presencia, habiendo desarrollado proyectos en la selva, en la costa norte y en plataformas petroleras que se encuentran en el mar de Piura.

1.1.2. Posición dentro del proceso comercial del crudo

Para poder ubicar el campo de acción de Schlumberger dentro del negocio del petróleo, es importante conocer la cadena de suministro de este, el cual empieza con la explotación en los campos petroleros, para que después de una serie de refinados concluya en la venta de sus derivados en el mercado. Durante este proceso se pueden identificar los diferentes tipos de empresas que intervienen y desempeñan un papel importante en el rubro. (Arenas, 2017)

En primer lugar, se definen los tipos de empresas que se desarrollan en este ámbito:

- I. Operadoras: Son aquellas que poseen los lotes petroleros para su exploración y disponen de ellos para poder extraer y comercializar el crudo que contienen. Generalmente, solicitan el servicio de terceros para poder habilitar sus locaciones. (Arenas, 2017)
- II. De servicios: Estas compañías trabajan para las operadoras, brindándoles una amplia variedad de servicios petroleros como son: exploración, perforación, mediciones, cementación, fractura, baleo, registro, limpieza, etc. (Arenas, 2017)
- III. De procesamiento: Estas son las grandes plantas industriales de refinamiento, que, con un proceso adecuado, obtienen diversos derivados del crudo, como gasoil, querosene, etc. (Arenas, 2017)

Ahora, se detallan las etapas que conforman el ciclo de operaciones del petróleo:

- a. Exploración de pozos petroleros: Todo comienza con la exploración o búsqueda de yacimientos petroleros de los terrenos otorgados a las empresas operadoras. Éstas contratan servicios de empresas externas para que realicen estudios cartográficos, geofísicos y sondeos de exploración para determinar la ubicación del pozo, capacidad de producción, diferentes sustancias que hay en la formación, etc. (Arenas, 2017)
- b. Perforación y habilitación del pozo: Si los resultados obtenidos en los estudios preliminares indicaron presencia de crudo, se procede a la demarcación de locaciones en donde el taladro

realiza la perforación del suelo, creando así el pozo como tal. Posteriormente se habilita el pozo, que consiste en un conjunto de servicios especializados para la correcta extracción del petróleo. (Arenas, 2017)

- c. Producción y extracción del crudo: Una vez culminada la etapa anterior, la empresa operadora realiza la extracción del crudo, para posteriormente comercializarlo en el mercado. Aquí también se realizan estudios enfocados en la producción del pozo. (Arenas, 2017)
- d. Refinamiento del petróleo: Las refinerías realizan la compra de los distintos crudos que ofertan las empresas operadoras en el mercado. Este crudo es llevado a las plantas de refinamiento, para que, con un proceso adecuado, se obtengan los diferentes derivados del petróleo (como gasoil, querosene, etc.) aptos para el consumo público o industrial. (Arenas, 2017)

Luego de haber identificado los tipos de empresas que se desarrollan en el ámbito petrolero, así como las etapas que son parte del proceso general del petróleo, se puede determinar un diagrama de flujo que condensa las clasificaciones anteriores.

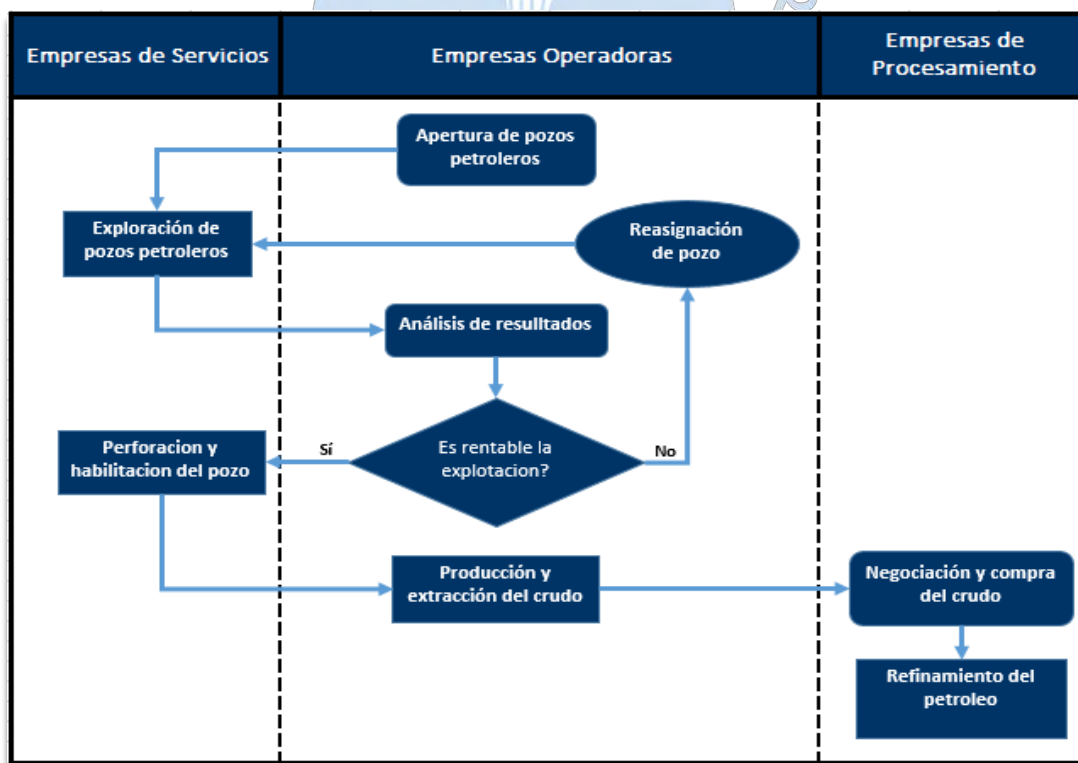


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso general del petróleo
Fuente: (Arenas, 2017)

Con todos los datos expuestos anteriormente, es preciso indicar que Schlumberger es una empresa dedicada a la prestación de servicios especializados dentro del ámbito petrolero, siendo el segmento *Drilling and Measurements* encargado de proveer servicios de perforación y mediciones con diversa tecnología.

1.1.3. Segmentos de Schlumberger presentes en Perú

Schlumberger (SLB) ha desarrollado un amplio portafolio de servicios especializados que brinda antes, durante y después de la habilitación de un pozo petrolero, implementando continuamente nuevas tecnologías y aplicándolas en su ámbito de acción. (Arenas, 2017)

Al poseer muchos servicios en particular, la compañía ha agrupado algunos de éstos para así consolidarlos en segmentos, los cuales son muchos y se manejan de manera independiente. (Arenas, 2017)

Entonces, a nivel mundial Schlumberger tiene diversos segmentos, pero se resalta que dependiendo del desarrollo y la demanda de las empresas operadoras del sector petrolero de un país, los segmentos de Schlumberger se hacen presentes en éste para ofrecer sus diferentes especialidades y tecnologías. (Arenas, 2017)

A continuación, se muestran los segmentos de SLB operativos en Perú:

Tabla 1 Segmentos de SLB presentes en Perú

Segmento	Descripción
<i>Wireline</i>	Dedicado al registro del pozo a través de pulsos eléctricos para la generación de data sobre la integridad de este.
<i>Testing</i>	Habilitado el pozo en su totalidad, realizan estudios enfocados en la productividad de la locación.
<i>Artificial lifting</i>	Cuando los pozos no poseen suficiente presión, introducen bombas sumergibles para incentivar la producción de crudo.
<i>MI Swaco</i>	Diseñan fluidos especializados para la facilitación de la perforación cuando se presentan variaciones en la locación.
<i>Drilling and Measurements</i>	Direccionan el pozo durante su perforación, utilizando electrónica avanzada para controlar las brocas. Se adicionó a este segmento <i>Bit Drilling Tools</i> que se enfoca en seleccionar y proveer brocas de perforación
<i>Well Services</i>	Abocados a la cementación, fracturamiento hidráulico, estimulación e intervención del pozo petrolero.

Fuente: (Arenas, 2017)

1.2. Segmento Drilling and Measurements

Luego de haber realizado una breve introducción de la empresa y los segmentos que operan en Perú, nos centraremos con especial énfasis en el segmento *Drilling and Measurements* (D&M), debido a que el proyecto se realizó en el área de mantenimiento (TLM) perteneciente a este segmento.

1.2.1. Descripción del segmento

El segmento fue nombrado anteriormente “*Anadrill*” y se formó en 1984 a partir de la fusión de “*The Analysts International S.A.*” y “*Dowell Schlumberger Drilling Services (DSDS)*”.

Drilling and Measurements (D&M) es un segmento que brinda servicios de perforación y mediciones de pozos petroleros. Poseen la capacidad de direccionar el conjunto de herramientas de perforación (BHA), siguiendo un plan preestablecido, y se encargan de evaluar las propiedades físicas, obteniendo los parámetros de formación como: presión, temperatura, resistividad, porosidad, registro de rayos gamma y la trayectoria del pozo en el plano tridimensional.

1.2.2. Servicios dentro del segmento

1.2.2.1. *Measurements While Drilling (MWD)*

Las herramientas MWD realizan *surveys* que ayudan a saber la localización del conjunto de medición (sarta) mientras se está perforando. El propósito es garantizar que la trayectoria del pozo siga el perfil de lo planificado.

La tecnología MWD utilizada en Perú se llama *TeleScope*, la cual consta de tres partes: turbina, electrónica y modulador.

La turbina da energía a la misma herramienta, como a otras. En la electrónica se encuentran dos tipos de sensores: magnetómetros y acelerómetros, los cuales ayudan a medir el campo magnético y gravitacional respectivamente. Por último, el sistema de modulación que ayuda a comunicar la herramienta con la superficie.

Entonces, gracias a la ayuda de esta herramienta y sus tres partes, se calculan datos de medición de la inclinación y el azimut de una ubicación en un pozo.

1.2.2.2. Logging While Drilling (LWD)

Las herramientas LWD son equipos parecidos a los MWD, con la gran diferencia de no poseer la capacidad de generar su propia energía eléctrica para funcionar, además de no proporcionar información acerca de la localización del conjunto de medición.

Sin embargo, estas herramientas se enfocan en obtener información acerca de la formación geológica en donde se está perforando, tomando como referencia la profundidad.

La tecnología LWD que opera en Perú se llama *arcVision*, la cual mide diferentes parámetros como como: densidad, porosidad, resistividad, etc. Toda esta información es obtenida y enviada a superficie a través de la herramienta MWD, para que por medio de sensores registre la información en computadoras.

La data es ordenada y presentada al cliente, con la finalidad que tenga conocimiento completo acerca de las condiciones del terreno perforado.

1.2.2.3. Rotary Steerable System (RSS)

Las herramientas RSS poseen una tecnología con la capacidad de controlar la dirección con la que se desea que el conjunto de tuberías perfora, con el fin de llegar al punto objetivo.

Antes de iniciar los trabajos se realiza un plan en donde se estipula la localización del conjunto de perforación a cierta profundidad, permitiendo que se pueda llegar a la zona objetivo de una manera eficiente.

La tecnología RSS que opera en Perú se llama *PowerDrive*, el funcionamiento de estos equipos se basa en proveer giro a la broca y poder perforar las formaciones rocosas, además cuenta con un sistema de paletas que empujan las paredes del agujero de manera que esto genere un cambio en la dirección mientras se está perforando. Todo esto lo hace por medio del bombeo de lodo al interior de la tubería, la cual genera electricidad a la herramienta y además la provee de fuerza para poder realizar su trabajo.

1.2.2.4. Surface

El sistema *Surface*, traducido como Superficie, es un grupo de componentes que pueden ser movidos rápidamente pozo a pozo en cuanto sea necesario. El propósito de este sistema de superficie es coleccionar y procesar datos acerca de los parámetros de perforación durante la operación, también se utiliza para recopilar información geológica sobre las formaciones que se exploran.

Surface está compuesto de 5 partes principales

- Sensores: usados para coleccionar datos que sirven para monitorear la operación de perforación.
- Sensores periféricos: proveen una ruta de transmisión para las señales del sensor, a través del cable a las computadoras dentro de la unidad de registro.
- Computadoras: sus funciones son convertir los datos de señal digital a binario, demodular señales MWD desde el fondo del pozo, almacenar datos, proveer comunicación con la herramienta de fondo de pozo.
- Cabinas: la unidad de almacenamiento o cabinas alberga las computadoras y otros equipos, además de ser un espacio de oficina para el personal de Schlumberger.
- Componentes periféricos: muestran, imprimen, trazan y transmiten datos al perforador y al cliente.

1.2.2.5. *Powerpak*

Powerpak, también conocido como motor, ayuda a incrementar el número de revoluciones que llega a la broca de perforación.

Cuenta con una parte llamada *Power Section*, que es el que ayuda a proporcionar la potencia del motor y está conformado por un estator y un rotor. Generalmente, se encuentra muy cerca de la broca para revisar que no haya pérdida de energía en los otros componentes del BHA.

1.2.3. Departamento de Mantenimiento: *Technology Lifecycle Management (TLM)*

La función del departamento de mantenimiento de D&M representa la columna vertebral de las operaciones, crucial para la confiabilidad y la mejora de la calidad del servicio. Siendo el responsable directo de garantizar el correcto desempeño de los equipos y, por otro lado, el de asegurar la continuidad de las operaciones en la medida que sea posible.

Una de las mayores fortalezas de este departamento es la calidad de su personal, altamente calificados y bien capacitados, brindan a la organización una ventaja competitiva para ayudar a dar forma al crecimiento de las operaciones futuras.

Es así como existen *Electronic Technicians*, especializados en realizar mantenimiento de las herramientas en lo que respecta a temas electrónicos. Asimismo, los *Mechanic Technicians* calificados para revisión y mantenimiento de la parte mecánica de las herramientas.

Cabe resaltar que el personal ya sea electrónico o mecánico lleva cursos de capacitación en centros de entrenamiento de la compañía, con el fin de especializarse en ciertas tecnologías dentro de cada línea. Por ejemplo, dentro de la línea MWD, un mecánico se puede especializar en la tecnología *TeleScope*, *Slimpulse*, etc.

En Schlumberger, el departamento de mantenimiento es llamado TLM (*Technology Lifecycle Management*) que adiciona el departamento de ingeniería a nivel mundial, para lograr así un equipo robusto y que atienda los retos del cliente de manera más efectiva.

Schlumberger cuenta con dos bases en la ciudad de Talara, Piura. En la base 1 es donde se encuentra el departamento de mantenimiento de D&M, contando con un área destinada a Laboratorio y otra a taller.

Dentro del laboratorio de D&M se encuentran separadas todas las líneas: MWD, LWD, RSS y Surface. Esto con el fin de desarrollar un mantenimiento ordenado a las herramientas de cada línea y existan responsables para cada línea.

En el taller de D&M se realiza el mantenimiento de los motores (Powerpak), también se encuentra ubicada el área de *Wash bay* (lavado) y la *Breakout Machine (BOM)*, utilizada para desarmar o armar los componentes cuando llegan o se envían a pozo, respectivamente.

Además, existe una plataforma virtual llamada QTrac, que facilita la información de tiempo de corrida en pozo de las diversas herramientas, proporcionándoles a los trabajadores de TLM el tipo de mantenimiento que deben dar y todo el M&S (*Materials and Suppliers*) que deben utilizar.

Capítulo 2

Visión general de Lean y de metodología DMAIC

El segundo capítulo se enfoca en explicar los principales desperdicios que enfrentan todas las empresas hoy en día, por ello surge la necesidad de aplicar una metodología enfocada en eliminar dichos desperdicios.

Esta metodología se denomina Lean. Iniciamos revelando la historia de Lean, las definiciones de los diversos autores, recalcando que todos los autores coinciden en que es una metodología enfocada en eliminar desperdicios.

Posteriormente se hablarán de los ocho tipos de desperdicios, calificados como DOWNTIME, y así las herramientas Lean para combatirlos.

Además, DMAIC, metodología de Six Sigma que permite el desarrollo de soluciones a procesos defectuosos, en forma estructurada, lógica y comprensible en todos los niveles de la organización.

Por tal motivo, Lean como un proceso de minimización de desperdicios puede ser fácilmente encajado dentro de DMAIC, una metodología Six Sigma de mejora de la calidad.

En ambas metodologías se centrará en resaltar y definir aquellas herramientas que nos servirán para realizar las mejoras en el segmento D&M.

2.1. Historia de Lean

Según Womack, Jones y Ross (1990), el principio de *lean manufacturing* o *manufactura esbelta* empezó a utilizarse en la industria del automóvil. En un inicio, se utilizaba el modelo de producción artesanal, empleando trabajadores altamente capacitados y herramientas simples y

flexibles para fabricar exactamente lo que el cliente requería, sin embargo, los costos eran muy altos, es así como se desarrolló la producción en masa como un método alternativo, con esta producción se empleaban profesionales con poca experiencia para operar maquinas costosas e intolerantes a las interrupciones, agregando suministros, trabajadores y espacio adicional para garantizar una producción sin problemas

A principios del siglo XX, este modelo de producción fue empleado por Henry Ford para el ensamblaje del automóvil modelo T, logrando cumplir el objetivo de tener un automóvil que podía fabricarse fácilmente y tener éxito por los precios bajos al que se vendía. Sin embargo, el modelo poseía algunos problemas que afectaban el proceso de producción, como la entrega de materia prima a destiempo, los espacios de planta sin utilización productiva, los altos desperdicios, los cambios costosos de diseños y los grandes volúmenes de productos almacenados.

La técnica de producción en masa llegó a su forma madura final gracias a las prácticas de fábrica de Ford y a las técnicas combinadas de marketing y gestión de General Motors, con el pensamiento innovador de Alfred Sloan, quien logró la estandarización de muchos elementos mecánicos, como bombas y generadores, para reducir costos de fabricación y generar la diversidad de modelos requerida por los consumidores. Por décadas, este sistema era la norma, tres empresas gigantes: Ford, GM y Chrysler representaron la mayor parte de las ventas.

En 1955, las tres grandes empresas estadounidenses estaban perdiendo su ventaja competitiva. La producción en masa se convirtió en algo común en países de todo el mundo, es así como la industria automotriz de Japón conformada por Toyota Motor Company, se propuso cambiar las reglas del juego, y a pesar de no contar con recursos suficientes y ser afectados por la Segunda Guerra Mundial, decidió competir con Estados Unidos.

Ante esa situación, Taichii Ohno y Shigeo Shingo, ingenieros de la empresa Toyota, comenzaron a buscar nuevas alternativas para sobrevivir en el creciente mercado en el que se encontraban. Así, comenzaron a desarrollar herramientas de manufactura y gestión que combinaban las ventajas de la producción artesanal y la de masa; dando como resultado el *Toyota Production System (TPS)*. El Sistema de Producción Toyota, a diferencia del modelo T de Ford, se enfocaba en la reducción de inventarios; trabajar el conocimiento, experiencia, fuerza y motivación del personal; ofrecer variedad de productos y reducir los tiempos de configuración de máquinas y herramientas. Acciones que hicieron que Toyota gradualmente se convirtiera en uno de los

fabricantes de automóviles más importantes y fuera tomado como modelo de implementación en otros países.

Actualmente, el modelo Toyota se resume en: eliminación de desperdicios o mudas, relación basada en la confianza (tanto en clientes como proveedores), participación de empleados en decisiones productivas y práctica de la calidad total.

En general, el nombre de “Lean Manufacturing”, “Producción Ajustada”, “Producción Limpia”, “Producción Esbelta” o “Producción sin Desperdicios” fue atribuido al Sistema de Producción Toyota, por los investigadores norteamericanos, James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos en el libro *“The Machine that changed the World”*, por ello los datos de la historia fueron obtenidos de este libro.

A partir de su publicación se dio a conocer el concepto Lean Manufacturing y las técnicas aplicadas para su desarrollo. Estos autores mencionan que el sistema tenía como objetivo disminuir desperdicios y generar un proceso productivo que tendiera a ser esbelto, es decir, hacer más con menos: menos tiempo, menos máquina, menos materiales; obteniendo como resultado final el producto o servicio que el cliente demandaba.

2.2. Definición Lean

Existen diferentes autores que definen esta metodología:

- Según Rajadell y Sánchez (2010), Lean es una palabra inglesa, traducida como “esbelto, sin grasa, escaso”, pero aplicada a un sistema productivo significa “ágil, flexible”, es decir, con la capacidad de adaptarse a lo que el cliente necesita. El objetivo del sistema Lean es el de eliminar desperdicios y lo que no añade valor, por tal motivo el termino fue aceptado rápidamente.

Para lograr la eliminación de desperdicios es necesario emplear diversas herramientas como TPM, 5S, SMED, Kaizen, Kanban, Jidoka, etc.

- Para Hernández y Vizán (2013), la expresión más utilizada entre los profesionales es Lean manufacturing, no obstante, en numerosas ocasiones se utiliza simplemente el termino Lean, dado que puede aplicarse en entornos de fabricación distinta.

“Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios” (p. 10).

Su objetivo final es el de inculcar una nueva cultura en los trabajadores, basado en la comunicación y el trabajo en equipo, por ello es primordial adaptar esta metodología a los diferentes ambientes y formas de trabajo. Cabe resaltar que la filosofía Lean no da nada por sentado, siempre existirán mejoras y se buscara nuevas formas de hacer las cosas de manera más ágil, flexible y económica.

- De acuerdo con Socconini (2008), Lean Manufacturing también es conocido como sistema Just in Time en Occidente. Definido como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicios que no agregan valor a un proceso, pero sí costo y trabajo.

Esta eliminación de excesos se lleva a cabo mediante un trabajo en equipo bien organizado, capacitado y sobre todo con esfuerzo continuo, el fin es que las empresas se vuelvan más efectivas, innovadoras y eficientes.

En conclusión, todas las definiciones anteriores tienen en común lo siguiente: la filosofía Lean tiene como fin principal la eliminación de desperdicios y todo aquello que no genera valor agregado a la empresa, esto nos ayuda a optimizar costos y tiempo de entrega del producto al cliente. Para lograrlo se aplican diversas herramientas.

2.3. Desperdicios en las empresas

Debido que Lean está enfocado en la eliminación de desperdicios, es necesario identificar qué, cuáles son y cómo impactan negativamente en una empresa.

Los desperdicios se definen como todo aquello que no añade valor al producto, o que no es esencial para fabricarlo. El valor se añade cuando las materias primas se transforman del estado en que se han recibido en otro estado de un grado superior de acabado por el cual el cliente está dispuesto a pagar. (Rajadell & Sánchez, 2010)

2.3.1. DOWNTIME

Se han propuesto numerosos acrónimos para estos ocho desperdicios como ayuda para la memoria, pero el que parece haber captado mejor es DOWNTIME, debido a que es simple, directo y apropiado. Esto es lo que significa cada una de las letras:

- D – “*Delays*”. Los *delays*, traducido como defectos, son el primer desperdicio con el que se debe lidiar cuando el trabajo no se realiza correctamente a la primera vez, lo que requiere una inspección o un nuevo trabajo para cumplir con estos requisitos. Errores que requieren tiempo, recursos y dinero adicional para solucionarlos. (McGee-Abe, 2015)

Los errores son comunes en la industria, aunque significan una pérdida de productividad, porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Los defectos pueden ser limitados cuando se realizan planificaciones de trabajos, existe un control de calidad más estricto en todos los niveles, una comprensión completa de los requisitos de trabajo y las necesidades del cliente, y aplicación de checklist que son ayudas simples para trabajar. (McGee-Abe, 2015)

- O – “*Overproduction*”. Se considera “sobreproducción” cuando se realiza cualquier trabajo innecesario que no se ha solicitado, o que se hace antes o más rápido de lo que el cliente necesita. En algunas organizaciones, los trabajadores producen ciegamente, incluso cuando los que reciben su producción no están listos para hacerlo o no lo necesitan. (McGee-Abe, 2015)

Una sobreproducción implica perder tiempo en fabricar un producto que no se requiere, representa un consumo inútil de material, se incrementan los transportes internos y se llenan de stock los almacenes. (Rajadell & Sánchez, 2010)

La solución es establecer un flujo de trabajo razonable para el beneficio del cliente. Asegurarse que existen procedimientos bien establecidos para cada proceso en su organización y, si es necesario, implementar procesos nuevos para evitar que el trabajo retroceda detrás de cuellos de botella particulares en la organización. (McGee-Abe, 2015)

- W – “*Waiting*”. El desperdicio de “espera” es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o proceso ineficiente. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Esto ocurre cuando el trabajo tiene que detenerse por alguna razón: porque la siguiente persona en la fila está abrumada, porque algo se rompió, porque está esperando aprobación o materiales, o porque te has quedado sin algo. Cualquiera sea la causa, algunos trabajadores

tienen que esperar a que se solucione un cuello de botella. Una forma de abordar esto es la necesidad de proporcionar personal adecuado para manejar la carga de trabajo en los cuellos de botella, que algunos gerentes pueden considerar como una fuente de desperdicio monetario. (McGee-Abe, 2015)

- N – “*Not-Utilizing Talent*”. Cualquier falla en utilización de tiempo y talento de empleados es un desperdicio de intelecto o empleados no comprometidos. El hecho de que los talentos, las habilidades y los conocimientos de las personas se utilicen de forma insuficiente o no la utilicen, puede tener un efecto perjudicial en una organización. (McGee-Abe, 2015)

Las empresas pueden experimentar grandes beneficios al reconocer el valor de las habilidades y las ideas de mejora de todos los niveles del negocio y pueden sufrir cuando no participan de manera efectiva en el proceso. Las soluciones clave incluyen aumentar la capacitación a sus empleados y detener la micro gestión. (McGee-Abe, 2015)

- T – “*Transportation*”. El desperdicio por transporte es el resultado de un movimiento o manipulación de material innecesario, quizás por culpa de un *layout* mal diseñado. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Un exceso de transporte tiende a aumentar los costos, desperdicia el tiempo, aumenta la probabilidad de daño y deterioro del producto y puede ocasionar una comunicación deficiente.

Limitar el desperdicio de transporte es fácil de abordar con sentido común, esto se logra mediante la simplificación de procesos, el rediseño físico, el manejo de productos con menos frecuencia y la reducción de distancias entre pasos. (McGee-Abe, 2015)

- I – “*Inventory*”. El desperdicio de “inventario” ocurre cuando hay un suministro en exceso de la demanda real del cliente, lo que enmascara la producción real. (McGee-Abe, 2015)

El despilfarro por stock es el resultado de tener mayor cantidad de existencias de las necesarias para satisfacer las necesidades más inmediatas. El hecho de que se acumule material antes y después del proceso indica que hay stock innecesario y que el flujo de producción no es continuo. En este caso, se deberían monitorizar las actividades intermedias para identificar y resolver el problema. (Rajadell & Sánchez, 2010)

- M – “*Motion*”. Cualquier movimiento de personas o máquinas que no agregue valor al producto, servicio o proceso se define como pérdida de movimiento. (McGee-Abe, 2015)

Si se observa detenidamente el ciclo de un trabajador, se podrá encontrar fácilmente este tipo de desperdicio: contando sus pasos, siguiendo sus rutas, se descubrirá muchas veces que el trabajador camina más de lo necesario al realizar búsquedas de herramientas, materiales o información. (Socconini, 2008)

La solución es reorganizar los diseños para disminuir la distancia entre las estaciones de trabajo y hacer que sea más fácil llegar a las cosas que se usan a menudo. (McGee-Abe, 2015)

- E – “*Extra-Processing*”. El desperdicio de “procesamiento adicional o excesivo” se puede definir como la creación de múltiples versiones de la misma tarea, proceso más de lo que se requiere o procesos mal diseñados de largo aliento. (McGee-Abe, 2015)

Es el resultado de poner más valor añadido en el producto que el esperado o el valorado por el cliente, en otras palabras, es la consecuencia de someter al producto a procesos inútiles, por ejemplo: verificaciones adicionales, aplicaciones innecesarias de pintura, algunos trabajos de limpieza, etc. (Rajadell & Sánchez, 2010)

2.4. Herramientas Lean

Los desperdicios dependen de la propia organización y de su forma de trabajo, es ahí donde nacen oportunidades de mejora para eliminar todo aquello que no aporte valor al producto o servicio final. Después de un análisis, corresponderá determinar dónde iniciar el desarrollo de las actividades lean y definir las herramientas que se van a utilizar, en función de las capacidades, los recursos y habilidades disponibles. (Rajadell & Sánchez, 2010)

A continuación, se enumerarán algunas herramientas, las cuales serán definidas más adelante (dentro de metodología DMAIC):

- VSM
- 5S
- Kanban
- TPM

- Jidoka
- Diseño Lean
- Poka Yoke

2.5. DMAIC

DMAIC es la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, que permite el desarrollo de soluciones a procesos defectuosos, en forma estructurada, lógica y comprensible en todos los niveles de la organización. Esta metodología es parte de Six Sigma.

En principio, Six sigma es una estrategia de mejora de calidad de procesos, mediante la identificación de causas de errores, defectos y retrasos, enfocándose en aquellos que son críticos para el cliente. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

La estrategia Six Sigma se basa en métodos estadísticos muy rigurosos que emplean herramientas de calidad para mejorar procesos ya existentes o para nuevos. Cuantitativamente, con términos estadísticos, esto quiere decir tener 3.4 defectos por millón de oportunidades, o, dicho de otro modo, estar bien el 99.9997% de las veces a la primera, llegando a la perfección. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Descrito ya Six Sigma, se explicará una de sus metodologías: DMAIC, utilizada para mejorar un proceso ya existente y compuesto por cinco fases: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control. A continuación, el detalle:

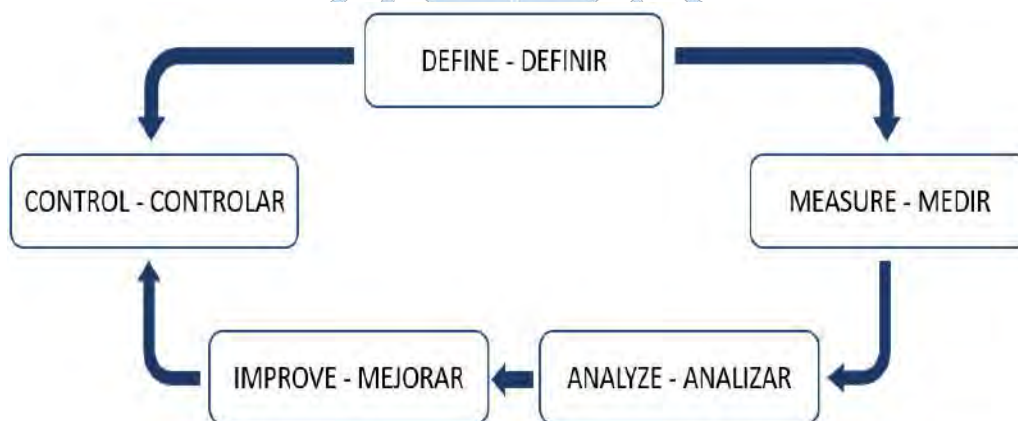


Figura 2. Fases de DMAIC
Fuente: Elaboración propia

2.5.1. Definir (D)

En esta etapa se enfoca, se delimita y se sientan las bases del proyecto. Se establecerá cual es el propósito de la implementación, los parámetros de inicio y hasta que nivel se involucrara el equipo (Hernandez C. , 2014)

Al finalizar esta fase se debe tener claro cuál es el problema, como se combatirá, el objetivo que se quiere alcanzar, el impacto de la realización del proyecto y los ahorros financieros. (Bahena & Reyes, 2006)

Las herramientas de esta etapa pueden ser:

2.5.1.1. *Project definition/ Project Charter*

Esta herramienta te da una visión general sobre el/los problemas que se abordarán y la forma como se solucionarán. El primer paso en la definición de un proyecto es identificar cuáles son los clientes, existiendo 2 tipos: (Bahena & Reyes, 2006)

- Cliente Interno: es el personal involucrado en el proceso, viene a ser la siguiente persona del proceso que recibe el trabajo.
- Cliente Externo: son aquellos que pagan cierta cantidad de dinero por los servicios o productos.

El problema se puede dar debido a distintos factores como: devoluciones, bajo nivel de servicio, entregas tardías, desperdicios, productos defectuosos, documentos inadecuados, etc. dependiendo de las políticas de la organización, el grupo de trabajo, el jefe inmediato y los resultados de las actividades diarias. (Bahena & Reyes, 2006)

En el *Project Charter*, traducido como carta del proyecto se evalúan los siguientes puntos: (Six Sigma Institute, 2019)

- ✓ Planteamiento del problema: debe describir el problema, identificar un periodo de tiempo para el cambio y su impacto financiero. Esto se hace cuando se prepara el escenario para el caso de negocio.

En general, en el planteamiento del problema se cuestiona lo siguiente, ¿Desde cuándo ocurre?, ¿Qué es lo que pasa?, ¿Cuál es la magnitud de problema? y ¿Qué consecuencias se han generado?

- ✓ Caso de negocio: ayuda a comprender cómo se vincula el proyecto con los objetivos de la empresa. El caso de negocio explica por qué es necesario emprender el proyecto y cómo ayudará los objetivos de la organización.
- ✓ Declaración de los objetivos: los objetivos definen la mejora que el equipo está buscando lograr. Debe ser SMART:

Specific (Específico)

Measurable (Medible)

Attainable (Alcanzable)

Relevant (Relevante)

Time Bound (Duración determinada)

Si se ha realizado un buen trabajo definiendo el problema y estableciendo metas, se sentará las bases para un resultado exitoso.

- ✓ Alcance del proyecto: nos ayuda a comprender el punto de inicio y fin del proyecto, brindando información sobre las limitaciones, dimensiones del proyecto y estableciendo el enfoque del equipo y las expectativas correctas.

El alcance delimita el proceso, es decir:

Punto de inicio: identificar la actividad en donde empieza el proceso.

Punto final: identificar la actividad donde termina el proceso.

Dentro del alcance: Actividades que se encuentran dentro del proceso.

Fuera del alcance: Actividades que no están dentro del proceso.

- ✓ Hitos del proyecto: incluyen un plan detallado del proyecto (Diagrama de Gantt) junto con un plan de comunicación detallada. Los hitos especifican los plazos para la finalización de cada fase.
- ✓ Equipo de trabajo: selección de las personas claves que intervienen y reciben beneficios del proceso. Esto incluye el nombre, roles y responsabilidades que deben desempeñar en el desarrollo del proyecto.

2.5.1.2. SIPOC

Es la herramienta de mapeo del proceso de alto nivel, SIPOC corresponde a las siglas de *Supplier* (proveedor), *Input* (entrada), *Process* (proceso), *Output* (salida) y *Customer* (cliente). (Bahena & Reyes, 2006)

El diagrama SIPOC es utilizado por un equipo para identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de mejora de procesos antes que el trabajo comience, así se identifica las entradas de proceso (X) y salidas (Y), el propietario del proceso, clientes y proveedores. Los cinco elementos clave de esta herramienta son: (Six Sigma Institute, 2019)

- Proveedor: quien proporciona los recursos y aportan información al proceso.
- Entrada: representa los recursos (insumos) requeridos por el proceso que vienen directamente de los proveedores.
- Proceso: son las actividades que transforman la entrada en salida para satisfacer los requisitos del cliente y entregar el resultado.
- Salida: el producto o servicio resultado de la operación exitosa de un proceso.
- Cliente: son las partes interesadas quienes indicaron los productos o servicios que requerían. Estos pueden ser clientes externos o internos.



2.5.2. Medir (M)

Esta etapa consiste en la localización del origen de la variación que se produce en el proceso, ocasionado problemas. Se trata de encontrar las causas que producen los problemas, posteriormente, se analiza su dimensión a través de las mediciones del proceso y los datos que permitirán su resolución. (Hernandez C. , 2014)

La recolección de datos es el factor clave, es la etapa que consume más recursos, debido a que de ello depende el éxito de las fases posteriores. Así, el proceso se define a un nivel más detallado con el fin de entender el flujo de trabajo. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Algunas herramientas importantes son:

2.5.2.1. Colección de datos

La colección de datos se da mediante una hoja de verificación, de manera que el registro sea sencillo, sistemático y de fácil análisis. Así debe poseer la característica que, visualmente, permita hacer un primer análisis de la información buscada. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

La finalidad de esta herramienta es fortalecer el análisis y medición del desempeño de los procesos de la empresa. Con la información obtenida se podrá orientar esfuerzos, actuar y decidir objetivamente. Muchas veces en las empresas abundan reportes, informes, registros, etc., pero el problema es que están archivados, se colectaron de manera errónea, se registraron demasiado tarde, o no existe el hábito de analizarlos y utilizarlos de manera sistemática para tomar decisiones. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

A continuación, se listará algunas de las situaciones en las que es muy útil obtener datos mediante las hojas de verificación o de colección de datos: (Gutierrez & De la Vara, 2004)

- Describir el desempeño o resultados de un proceso.
- Clasificar las fallas, defectos o quejas según su magnitud, razón, tipo, área de donde procede, etc.
- Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- Analizar operaciones y evaluar planes de mejora.

La hoja de recolección de datos depende del formato que establezca la empresa, el objetivo es reflejar la realidad de lo que está sucediendo y responder las siguientes interrogantes: (Bahena & Reyes, 2006)

- ¿Qué vamos a hacer?
- ¿Por qué haremos eso?
- ¿Dónde lo haremos?
- ¿Quién lo hará?
- ¿Cuándo se realizará?
- ¿Cómo se va a hacer?

2.5.2.2. Diagrama *Spaghetti*

Un diagrama *spaghetti* es una herramienta efectiva que rastrea el movimiento del proceso, mostrando visualmente el tráfico, la distancia recorrida y el número de movimientos de personas y máquinas. Esta herramienta nos da un panorama visual del flujo real en la empresa, mostrando muchas veces las pérdidas al detectar movimiento de personas o máquinas que no agregan valor al producto o servicio. (Six Sigma Material, 2019)

Su creación debe hacerse por o con ayuda de los operadores o aquellos que usan y se involucran en el proceso. Es importante registrar la trayectoria y medir las distancias con una cinta métrica. Una vez que se han trazado los recorridos, el mapa representa el estado actual, en muchos casos las líneas mostrarán el complejo flujo de movimiento que se ve como *spaghetties* en un tazón. A continuación, los pasos (Six Sigma Institute, 2019)

- 1°. Registrar los procesos, preguntarse si la actividad está clara y montar el diseño del espacio de trabajo.
- 2°. Marcar la localización donde sucede el primer paso del proceso, dibuje flecha direccional para la ruta hasta llegar al segundo paso.
- 3°. Continuar sucesivamente hasta que se haya mapeado y trazado todos los pasos del proceso, sin omitir ningún movimiento de flujo, incluso si el papel se desordena y es difícil de seguir, pues esto probablemente indica oportunidad.
- 4°. Medir distancia recorrida a través del proceso, mostrando áreas donde los materiales se detienen, almacenan, retienen y recogen.
- 5°. Discutir el diagrama final con el equipo con el objetivo de mejorar el flujo de trabajo.

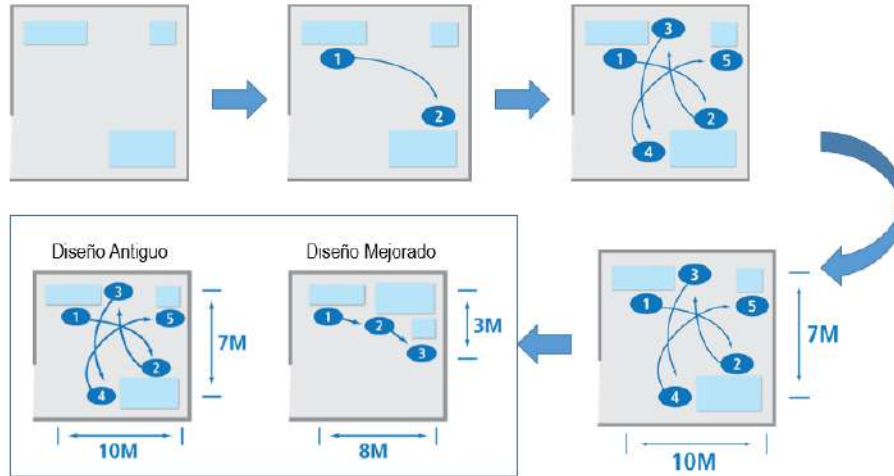


Figura 4. Pasos para elaborar Diagrama Spaghetti
Fuente: Elaboración propia

2.5.2.3. Value Stream Mapping (VSM)

La herramienta VSM muestra el flujo de materiales y de información desde el proveedor hasta el cliente, plasma de manera sencilla y visual todas aquellas actividades realizadas actualmente para obtener un producto o servicio, con el fin de identificar la cadena de valor. (Rajadell & Sánchez, 2010)

La cadena de valor muestra las actividades que no aportan valor agregado al negocio, por tal motivo es necesario eliminarlas para poder ser más eficientes. VSM otorga beneficios como: ayudar a visualizar más de un simple proceso, vincular el flujo de información y de materiales en un solo mapa, además de obtener un sistema estructurado para implementar mejoras. (Rajadell & Sánchez, 2010)

El VSM se elabora para cada familia de productos, los datos deben reflejar la realidad. Un aspecto clave es que recoge una línea de tiempos “VA”, donde se genera valor agregado y tiempo “NVA” o de valor no agregado, siendo indicador potencial de mejora. (Hernandez & Vizán, 2013)

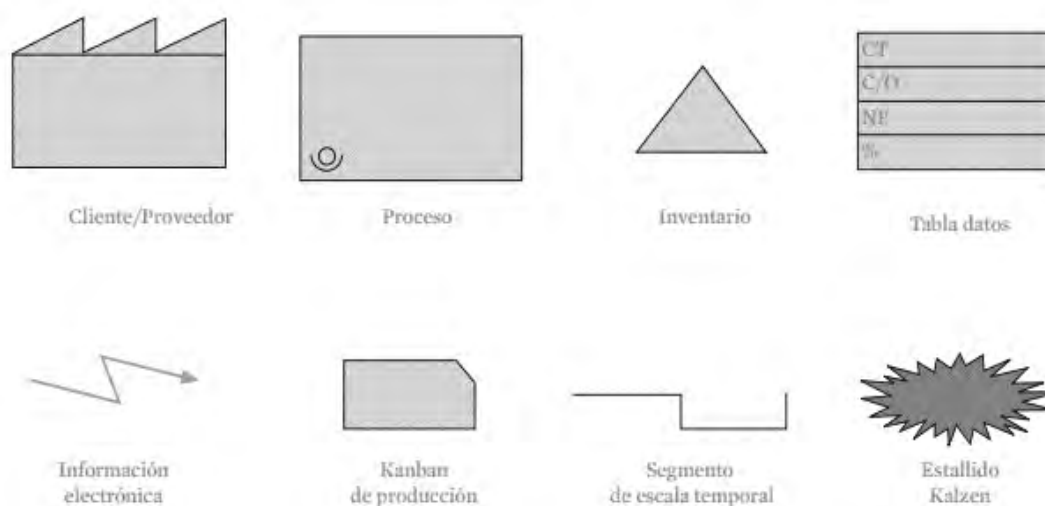
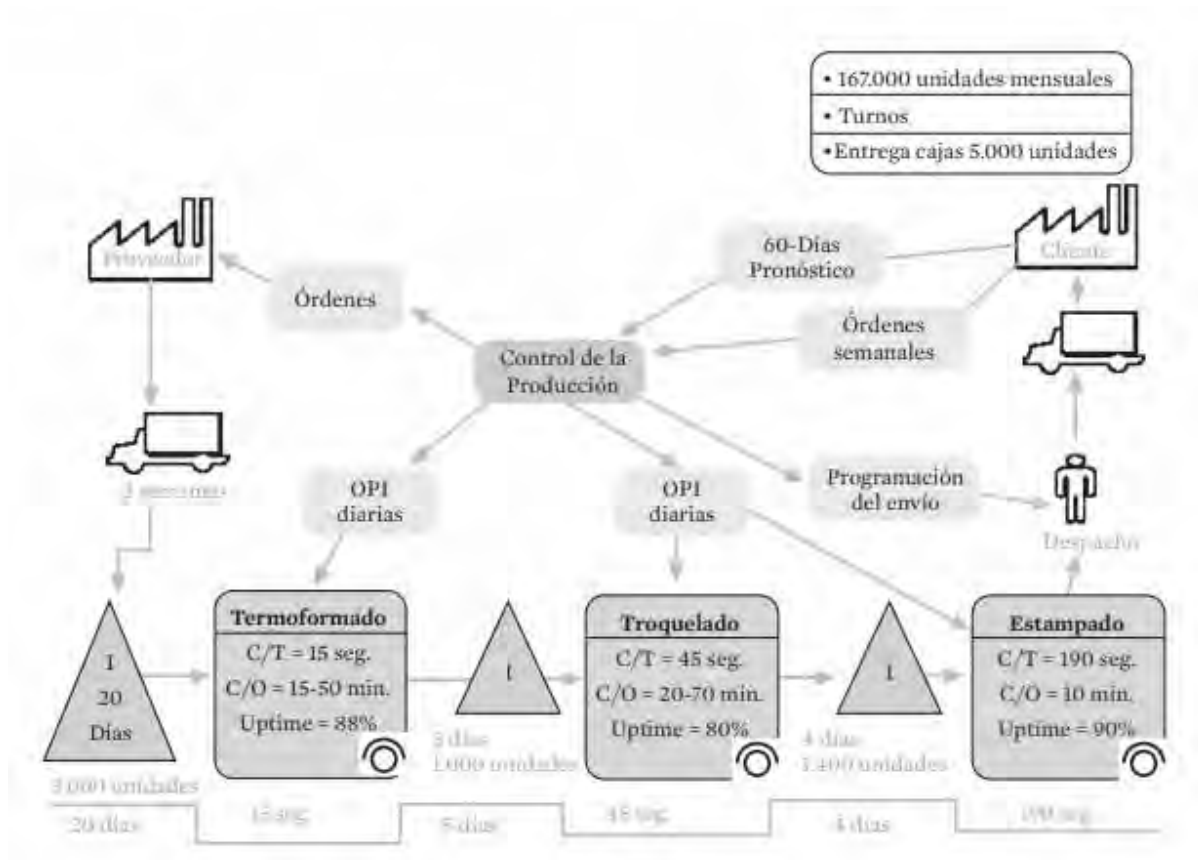


Figura 5. Símbolos de VSM

Fuente: (Hernandez & Vizán, 2013)

Los pasos para elaborar el VSM son los siguientes: (Hernandez & Vizán, 2013)

- 1°. Dibujar los iconos de clientes, proveedores y control de producción
- 2°. Identificar los requisitos de clientes por mes/día
- 3°. Calcular producción diaria
- 4°. Dibujar iconos logísticos con la frecuencia de entrega
- 5°. Agregar cajas de procesos de izquierda a derecha en secuencia
- 6°. Agregar tablas de datos debajo de cada proceso y la línea de tiempo debajo de las cajas
- 7°. Agregar las flechas de comunicación
- 8°. Agregar los datos de los procesos en las tablas de datos. En caso de tiempos medirlos con cronómetro o estimación
- 9°. Agregar símbolos y número de operadores
- 10°. Agregar los sitios de inventario y niveles en días de demanda y el icono más abajo
- 11°. Agregar las flechas de flujo y otra información útil
- 12°. Agregar datos de tiempo, turnos, tiempo disponible
- 13°. Agregar horas de trabajo VA y tiempos de entrega en la línea de tiempo ubicada debajo de los procesos
- 14°. Calcular el tiempo de VA total y el tiempo total de procesamiento



2.5.3. Analizar (A)

Fase designada al análisis del sistema con el fin de eliminar la brecha entre el desempeño actual y el desempeño deseado. (Hernandez C., 2014)

“Se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmarlas con datos”. (Gutierrez & De la Vara, 2004, p. 406)

Algunas herramientas más utilizadas son:

2.5.3.1. Análisis causa raíz

La identificación de la causa raíz es necesaria para resolver problemas de forma permanente, optimizar procesos y maximizar el rendimiento. Muchas veces, el foco de atención se centra en mejorar los efectos de un problema, en lugar de erradicar la causa raíz.

El análisis práctico de la causa raíz debe ser simple, efectivo, rápido, fácil de entender y lógico. Una de las técnicas de análisis disponibles se denomina 5 *Whys* traducido como 5 Por qué.

La técnica 5 Por qué, es una herramienta que te ayuda durante el proceso de análisis en donde te mantienes preguntando ¿por qué?, hasta encontrar la causa raíz. Pero no todo queda ahí, una vez encontrada la causa raíz, se deben establecer acciones necesarias correctivas.

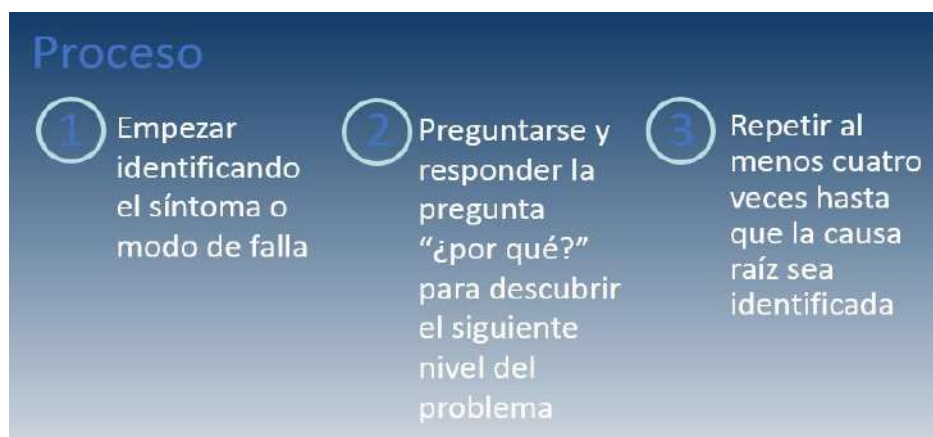


Figura 7. Proceso de la técnica 5 Por qué
Fuente: Elaboración propia

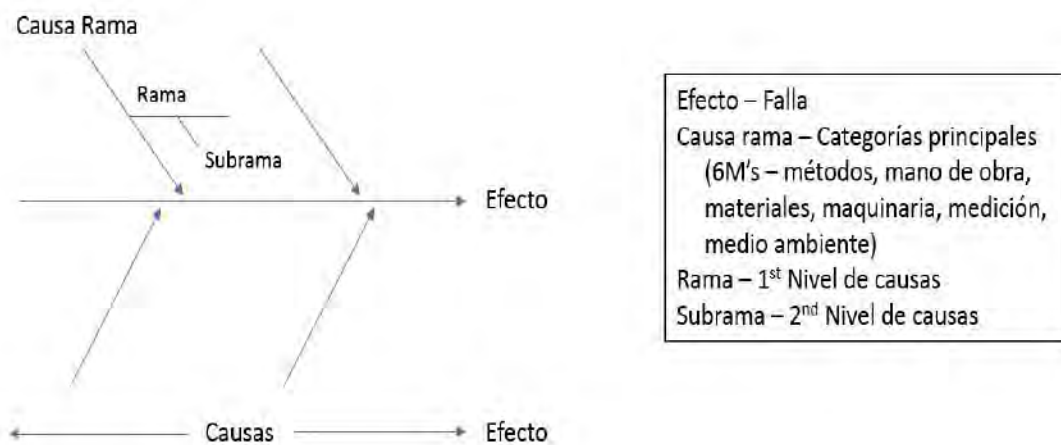
2.5.3.2. Diagrama *Ishikawa* o de causa-efecto

El diagrama Ishikawa o de causa-efecto o de espina de pescado, es un método gráfico que relaciona el efecto de un problema con las causas que lo han generado, es importante usar este diagrama, pues obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema en análisis, evitando de esta manera buscar soluciones sin identificar las verdaderas causas. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Esta herramienta utiliza un método común llamado 6M, que consiste en agrupar las causas potenciales en 6 ramas que empiezan con la letra "M": métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Algunos aspectos o factores que considerar en este método 6M son: (Six Sigma Institute, 2019)

- Métodos: esta categoría agrupa causas raíces relacionadas a procedimientos, transferencias, problemas de entrada-salida.
- Mano de obra: cualquier causa potencial relacionada con las personas y organización que realizan las tareas.

- Materiales: se relaciona con el material o materia prima necesaria para ejecutar el proceso.
- Maquinaria: representan las causas relacionadas a equipos o maquinarias usadas para la ejecución del proceso.
- Medición: cualquier error debido a sistemas de medición mecánicos o humanos o problemas con la integridad de los datos.
- Medio Ambiente: son problemas externos incontrolables relacionados con el ambiente donde se trabaja, las condiciones climáticas, del mercado y problemas regulatorios.



2.5.3.3. Diagrama de Pareto

Más del 80% de la problemática en una organización se debe al 20% de causas que actúan de manera permanente sobre los procesos. El diagrama de Pareto es un gráfico de barras cuyo campo de análisis son los datos categóricos, con el fin de ayudar a localizar los problemas vitales y sus principales causas. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Este diagrama está respaldado por el Principio de Pareto o “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se indica que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), siendo los demás elementos los que propician muy poco efecto total. En general, el diagrama de Pareto clasifica problemas en función de categorías o factores de interés, algunos ejemplos son: por tipo de defecto, por tamaño de la pieza, tipo de accidente, tipo de cliente, etc., siendo cada clasificación fuente de elaboración de un diagrama (Gutierrez & De la Vara, 2004)

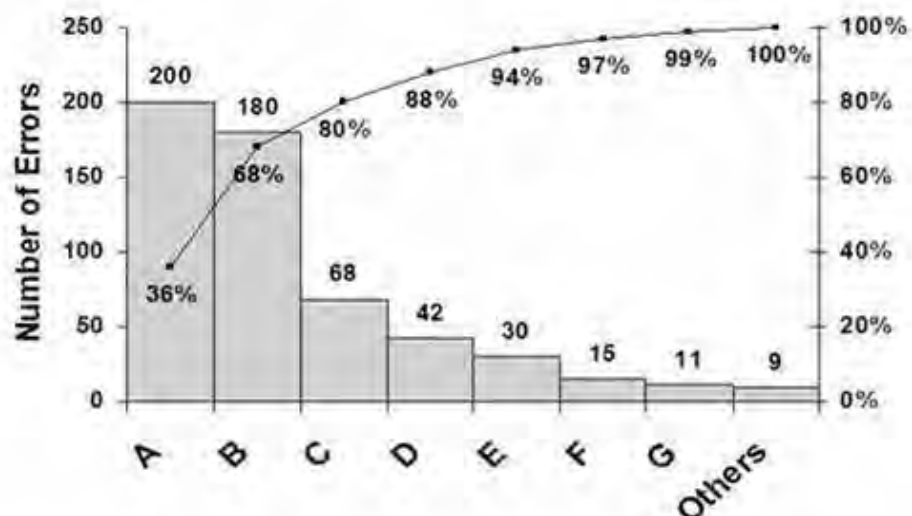


Figura 9. Diagrama de Pareto
Fuente: (Six Sigma Institute, 2019)

2.5.4. Mejorar (I)

El objetivo de esta etapa es aplicar los cambios o las mejoras propuestas que enfrenten las causas raíz, asegurándose que se corrige o reduce el problema. Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diferentes causas, pensando en que dichas soluciones ataquen la fuente del problema y no el efecto. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Las mejoras dependen de cada responsable, sin embargo, existen algunas herramientas que ayudan:

2.5.4.1. 5S

La implementación de 5S constituye el primer paso para la transformación de un sistema convencional a un sistema Lean. (Sacristan, 2005)

“Es un programa de trabajo para talleres y oficinas que consiste en desarrollar actividades de orden/limpieza y detección de anomalías en el puesto de trabajo, que por su sencillez permiten la participación de todos a nivel individual/grupal, mejorando el ambiente de trabajo, la seguridad de personas, equipos y la productividad”. (Sacristan, 2005, pág. 17)

Las 5 S son las iniciales de los 5 principios japoneses, en forma de pasos o fases, cuyo fin es obtener un lugar limpio y ordenado. Estas 5S fueron adaptadas al idioma inglés y son: (Sacristan, 2005)

- *Sort* (Seleccionar): Se trata de organizar todo, separar lo necesario de lo innecesario y clasificarlo. (Sacristan, 2005)

El objetivo es eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios y controlar el flujo de cosas para evitar estorbos y elementos inútiles que originan desperdicios. (Rajadell & Sánchez, 2010)

- *Set in order* (*Ordenar*): Los elementos catalogados como necesarios serán clasificados de tal manera que sean fáciles de encontrar. Para ello, se debe definir el lugar de ubicación e identificarlos para facilitar la búsqueda y el retorno a su posición cuando se utilicen. (Rajadell & Sánchez, 2010)

En este paso es necesario delimitar las áreas de trabajo, zonas de paso y un lugar de almacenaje adecuado, pero sobre todo evitar herramientas duplicadas. (Castrejón, 2016)

- *Shine* (Limpiar): Limpieza e inspección del lugar de trabajo para identificar el defecto y eliminarlo. *Shine* da una idea de anticipación para prevenir defectos. (Rajadell & Sánchez, 2010)

El objetivo es lograr limpiar completamente el lugar de trabajo, de tal forma que no haya polvo, salpicaduras, grasa, virutas, etc. en el piso, ni en las máquinas y equipos. (Sacristan, 2005)

- *Standardize* (Estandarizar): Establecimiento de estándares, consiguiendo distinguir entre una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y visibles para todos, así como mediante controles visuales de todo tipo. (Sacristan, 2005)

Sistematizar lo hecho con las tres primeras "S" es básico para asegurar unos efectos duraderos, pues supone seguir un método para aplicar un procedimiento o una tarea de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales. (Rajadell & Sánchez, 2010)

- *Sustain* (Disciplina): Tiene por objetivo convertir en hábito que los empleados utilicen métodos estandarizados y acepten la aplicación normalizada, desarrollando una cultura de autocontrol y autodisciplina para hacer perdurable el proyecto de las 5S. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Es importante realizar auto inspección de manera cotidiana, revisar y ver en qué situación está el lugar de trabajo, establecer hojas de control y comenzar a aplicarlas. (Sacristan, 2005)

En general, las tres primeras “S” son operativas. La cuarta, ayuda a mantener el estado alcanzado en las fases anteriores, mediante la aplicación de estándares y control visual. La quinta, permite adquirir el hábito de la práctica y aplicar la mejora continua en el trabajo diario. (Sacristan, 2005)

2.5.4.2. Diseño Lean

En la etapa de medición se utilizó la herramienta Spaghetti para dar una visión actual del diseño con desperdicios, entonces aplicando el diseño Lean se logrará disminuir el tiempo de recorrido de las personas y productos con un óptimo flujo de trabajo, generando una gran mejora.

2.5.4.3. TPM

Es una herramienta que se enfoca en el mantenimiento de los equipos envueltos en la producción, aplicando conceptos como mantenimiento preventivo, cero defectos ocasionados por las maquinas, cero accidentes y total participación del personal. Todo esto con el fin de permitir la continuidad de la operación. (Socconini, 2008)

El Mantenimiento Productivo Total busca asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones, para que logre producir los componentes de acuerdo a los estándares de calidad en un tiempo de ciclo adecuado. Cada máquina debe estar lista para trabajar y satisfacer los requerimientos del cliente, se debe asegurar que el equipo sea fiable durante todo el proceso de producción y que funcione perfectamente y sin averías. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Socconini (2008), menciona algunas de las utilidades del TPM:

- Mejora en la calidad, pues las maquinas son más precisas y producen partes con menos variación
- Mejora la productividad al aumentar la disponibilidad de la maquinaria
- Permite mejorar el servicio de los clientes, y por consecuencia su confianza
- Da continuidad en las operaciones de la planta
- Mejora el uso y aprovechamiento de los equipos
- Involucra a los operadores en el cuidado y mantenimiento de sus equipos
- Reduce los gastos por mantenimiento correctivo (descomposturas no programadas)

- Reduce el número de defectos y productos rechazados por los clientes, que son generados por maquinas en mal estado
- Reduce costos operativos hasta en 30%

Las maquinarias o equipos sufren un desgaste natural cuando se usan de manera normal, y un desgaste forzado debido a la falta de cuidado por parte del operador. La herramienta TPM elimina el desgaste forzado dándoles a los operadores la responsabilidad del cuidado de sus equipos a cargo y mantenerlos en condiciones óptimas. (Socconini, 2008)

Socconini (2008), menciona los 6 pilares del TPM y su enfoque de acción:

- Mejoras enfocadas: cuyo fin es reducir tiempos muertos por paros inesperados
- Mantenimiento autónomo: enfocado en atacar los tiempos muertos por cambios de productos
- Mantenimiento planeado: para paros menores y defectos
- Mantenimiento de calidad: para defectos en el proceso y disminución de tiempos de arranque
- Capacitación: del personal para reducción de tiempos de cambio y de arranque
- Seguridad: enfocado en reducir paros menores y reducción de velocidad

Además, indica algunas mediciones importantes del TPM:

a. Efectividad Total de Equipos:

Efectividad Total de los Equipos u OEE (“*Overall Equipment Effectiveness*”) es una medición indispensable para darnos cuenta de la capacidad real para producir sin defectos. (Socconini, 2008)

$$OEE = \text{disponibilidad} * \text{eficiencia} * \text{calidad}$$

Donde:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo disponible} - \text{tiempo muerto}}{\text{tiempo disponible}}$$

Tiempo disponible: *Tiempo total* – *Tiempo planeado* (comida, reuniones, etc)

Tiempo muerto = *Tiempo de descomposturas* + *Tiempo de cambio de producto*

$$Eficiencia = \frac{Produccion\ Total}{Tiempo\ operativo * Capacidad}$$

$$Calidad = \frac{Produccion\ Total - Defectos\ y\ retrabajos}{Produccion\ Total}$$

b. Tiempo medido entre fallas

El tiempo medido entre falla o MTBF (*“Mean Time between failures”*) es un indicador que se obtiene con la suma de todos los tiempos de falla divididos entre el número de fallas observadas. Este valor indica el periodo aproximado en el que una máquina funciona sin fallas. (Socconini, 2008)

c. Tiempo medido entre reparaciones

El tiempo medido entre reparaciones o MTTR (*“Mean Time Through Repair”*) es un indicador obtenido por la suma de todos los tiempos de reparación de un equipo dividido entre el número de reparaciones realizadas. Este valor indica el tiempo estimado que un equipo está parado mientras se repara. (Socconini, 2008)

2.5.4.4. Kanban

Kanban se define como el sistema *“Pull”* (jalar), que consiste en una comunicación constante para controlar la producción, sincronización de los procesos con la demanda y apoyo para la programación de la producción. (Socconini, 2008)

Es un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas, que consiste en que cada proceso retira lo necesario de los procesos anteriores, y estos solamente comienzan a producir las piezas, conjuntos o subconjuntos que se han retirado, sincronizándose todo el flujo de materiales de los proveedores con el de los talleres de la fábrica, y estos con una línea de montaje final. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Las tarjetas se adjuntan en contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta y la cantidad que refleja la misma es la cantidad que debe tener el envase o contenedor. Así las tarjetas *Kanban* se convierten en el mecanismo de comunicación de las órdenes de fabricación entre las diferentes estaciones de trabajo. (Hernandez & Vizán, 2013)

Tipos de *Kanban*:

- *Kanban* de retiro: especifica la clase y la cantidad de un producto que un proceso debe retirar del proceso anterior. (Socconini, 2008)
- *Kanban* de producción: especifica la clase y la cantidad de un producto que un proceso debe producir. (Socconini, 2008)

2.5.4.5. *Jidoka*

Esta herramienta es referente a la calidad total, al compromiso de hacer bien las cosas a la primera, con esfuerzo de todos los trabajadores, supervisión y mediciones constantes. El fin es asegurar que las unidades producidas cumplan con las especificaciones dadas, evitando tener piezas defectuosas, ya que ninguna empresa tiene previsto la producción de piezas adicionales. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Así cada trabajador se convierte en un inspector de calidad, no hay distinción en el organigrama. De esta forma si se localiza un defecto, la reparación no se realiza después de un largo tiempo, sino inmediatamente después de la localización. (Rajadell & Sánchez, 2010)

La técnica *Jidoka* se puede aplicar de distintas maneras; en la mayoría de los casos depende de la creatividad aplicada para evitar que una pieza defectuosa continúe avanzando en su proceso. (Hernandez & Vizán, 2013)

2.5.4.6. *Eventos Kayzen*

Kayzen es una palabra japonesa que significa “mejora”. En la cultura japonesa al hablar de mejora se habla de cambios constantes. Es así como hoy en día se relaciona el término *Kayzen* con “mejora continua”. (Socconini, 2008)

Un evento *Kayzen* es realizada por los equipos de trabajo, cuyo objetivo es mejorar los resultados de los procesos que se traducirán en beneficios de productividad para el negocio. (Socconini, 2008)

La mejora continua requiere de planes estratégicos que permitan lograr mejoras graduales, continuas e integrales. Esto generará que el mundo pueda gozar cada día de mejores productos, mejores comunicaciones, mejores medicinas, entre otras cosas. (Bahena & Reyes, 2006)

2.5.5. Controlar (C)

Cuando las mejoras de la anterior etapa ya se alcanzaron, se diseña un sistema que mantenga estables estas mejoras y posteriormente se cierra el proyecto. Esta etapa es muchas veces la más difícil, puesto que se trata de que los cambios y mejoras realizadas sean de manera permanente, se institucionalicen y generalicen, esto implica que todo el personal involucrado en el proceso se adapte y participe, pudiendo muchas veces haber objeciones, resistencias y complicaciones. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

A continuación, algunas herramientas de esta etapa:

2.5.5.1. *Poka Yoke*

Poka Yoke es una técnica de calidad que significa “a prueba de errores”, cuya idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de ser realizados. (Bahena & Reyes, 2006)

Es una herramienta enfocada en la inspección o detección de los defectos de un proceso, orientada en detectar la regularidad estadística de las fallas, para así identificar dónde, cuándo y cómo están ocurriendo las fallas, con el fin de enfocar mejor las acciones correctivas. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

Cuando las causas de fallas están relacionadas con errores humanos, la situación empeora, ya que los trabajadores tienen olvidos o al tener una rutina de trabajo, el exceso de confianza los puede llevar a descuidos. Es así como el propósito fundamental de un sistema *Poka Yoke* es diseñar sistemas, métodos de trabajo y procesos a prueba de errores. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

No solo es implementar dispositivos que auto verifiquen al 100% la calidad, sino que atiendan la causa del error. Cada día hay más dispositivos de esta naturaleza. Por ejemplo: que la llave de encendido de un automóvil no se pueda extraer a menos que la palanca de velocidades esté en la posición de estacionamiento, es una muestra de sistema *Poka Yoke* que evita accidentes. (Gutierrez & De la Vara, 2004)

En el montaje de cubiertas de plástico, en ocasiones se causaba daño a las cubiertas cuando el desarmador se deslizaba fuera de las ranuras de un tornillo. La solución fue cambiar la forma del tornillo para evitar deslizamientos.

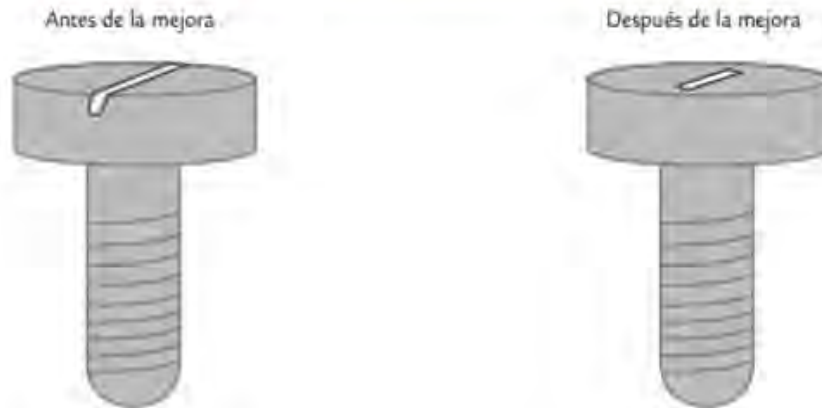


Figura 10. Ejemplo de aplicación de Poka Yoke
Fuente: (Gutierrez & De la Vara, 2004)

2.5.5.2. Auditorías y plan de control

Las auditorías y plan de control se pueden utilizar para controlar la variación del proceso o para mantener las ganancias logradas a través del proceso de mejora continua.

Cuando se han realizado mejoras, estas deben protegerse. El plan de control integrado impide que la organización vuelva a caer en viejos comportamientos y sirve como la nueva base para la mejora continua en marcha hacia la excelencia.

Para ayudar a mantener las ganancias en los cambios del proceso, es mejor cambiar físicamente el flujo del proceso. 5S debe realizarse en el área de trabajo y auditarse periódicamente. Las métricas visuales y los KPI o los indicadores clave del proceso dan un vistazo si el proceso está funcionando correctamente.

2.5.5.3. Gestión Visual

La gestión visual es señal simple que proporciona una comprensión inmediata de una situación o condición. Aporta la representación visual de cómo se organiza el proceso, cómo funciona y una idea de cuándo no funciona como se esperaba. Esto facilita el desarrollo de ojos para el flujo y desperdicio. Al igual que 5S y el trabajo estandarizado, los controles visuales y la gestión visual son la base y los primeros pasos del viaje de mejora continua.

La gestión visual se vincula con 5S para mantener y gestionar un lugar de trabajo eficiente. Juntos son la base de Lean y son requisitos previos para la mejora continua.

2.6. Ventajas de aplicar Lean DMAIC

En la actualidad, el mercado para las diferentes industrias se ha tornado competitivo, provocando que los clientes sean más exigentes. Esto obliga a las empresas a ser más flexibles, con el fin de satisfacer al cliente. Claro está que no deben perder de vista la calidad, la rapidez de respuesta y los costos en sus productos o servicios.

El principio fundamental de Lean Manufacturing es que el producto o servicio brindado se ajuste a las necesidades de los clientes, para ello es fundamental eliminar los desperdicios. Una empresa incrementa su competitividad, innovando y mejorando continuamente. (Rajadell & Sánchez, 2010)

Lean ofrece sus herramientas para proporcionar pequeñas y frecuentes mejoras en los procesos y resolver problemas de productividad. Además, otro punto importante, es que la implementación de esta metodología reduce considerablemente los costos indirectos, mientras se mantienen los estándares de calidad y disminuyen los tiempos de ciclo de fabricación y mantenimiento. (Rajadell & Sánchez, 2010)

DMAIC es la metodología que permite el desarrollo de soluciones a procesos defectuosos, en forma estructurada, lógica y comprensible en todos los niveles de la organización. Esta metodología también ofrece herramientas para definir y atacar las causas de los problemas, sin embargo, en la etapa de mejora y control utilizan herramientas Lean para eliminación de desperdicios e innovación.

Con lo expuesto anteriormente, aplicar estas dos metodologías de manera combinada genera resolución de problemas y desperdicios de manera estructurada, atacando desde la causa raíz hasta generar un control de las mejoras.



Capítulo 3

Implementación de metodología Lean y DMAIC en el departamento de Mantenimiento de D&M Talara

3.1. Análisis y detección de falencias en la distribución actual

Dentro de la distribución del laboratorio y taller de *Drilling and Measurements* (D&M), el objetivo principal es detectar aquellos desperdicios que resultan improductivos dentro de la ejecución de labores de los técnicos mecánicos y electrónicos en el mantenimiento, lo que implica: tiempos muertos, movimientos extra, espacio mal aprovechado, gastos económicos, etc.

Este punto es clave, para posteriormente atacar los problemas con soluciones Lean y DMAIC y aprovechar en subir el porcentaje de efectividad de mantenimiento de las herramientas.

3.1.1. Definición del problema

En la primera etapa de DMAIC emplearemos la herramienta SIPOC, que proporciona el punto de partida para un proyecto, dando una visión general y ayudando a ubicar las deficiencias en las etapas del proceso, así el problema puede estar ubicado dentro de “P” o en cualquier otra etapa.

Además, se utilizará la herramienta *Project Charter*, para indicar cuales son los problemas que se evaluarán dentro de la etapa definida anteriormente, el alcance del proyecto y los objetivos.

a. SIPOC.

La siguiente figura nos da un panorama general del proceso de *Technology Lifecycle Management* (TLM), desde los proveedores hasta los clientes, como ya se ha explicado antes, el equipo de TLM se dedica al mantenimiento de las herramientas, con el fin de dejarlas operativas y que los Ingenieros de Campo las puedan utilizar para la perforación.



Figura 11. SIPOC de Technology Lifecycle Management (TLM)

Fuente: Elaboración propia

El énfasis de ejecución del proyecto recae en las entradas, el proceso y las salidas. En las entradas, resulta importante evaluar si hay un buen control de herramientas de mano, si los materiales y suministros para realizar el mantenimiento están completos y dentro de su respectivo kit de servicio.

En la etapa proceso, es donde se realiza el mantenimiento de las herramientas, pero el punto clave es identificar si los técnicos están a gusto con el diseño actual o si se requiere modificación, evaluar el recorrido y detectar falencias.

Por último, en las salidas es importante verificar que se haya realizado el servicio de mantenimiento conforme, para que no haya fallas al perforar debido a piezas incorrectas, además, el mantenimiento debe estar dentro del tiempo de especificaciones y cumplir y reducir el TAT, que es el tiempo de ciclo desde que una herramienta llega a base en estado RONG (pendiente mantenimiento), se realiza el mantenimiento y sale en estado FIXED o FXD (mantenimiento realizado y pendiente de configuración final).

b. Project Charter.

- Planteamiento de problemas:
 - Diseño actual con espacio mal aprovechado, lo que implica movimiento extra de los trabajadores y tiempo muerto, generando un gasto innecesario.
 - Durante el proceso de mantenimiento de las diversas herramientas de perforación, se pierde mucho tiempo buscando herramientas de mano, porque no hay un lugar de almacenamiento correcto.
 - Lugar y mesas de trabajo muy desordenados.
 - Falta de seguimiento de KPIs o Indicadores Clave de Desempeño.
- Caso de negocio:

Emprender el proyecto de aplicación de herramientas Lean y DMAIC es necesario, porque se observan muchos desperdicios que resultan improductivos para las labores que realiza el equipo de TLM, en la ejecución de mantenimiento de parte mecánica y electrónica de las herramientas de perforación.

Aplicando esto, se logrará reducir o eliminar los desperdicios que están a nuestro alcance y ayudará a que el ambiente laboral sea mucho mejor, pues ya no existirá movimiento extra, trabajo extra, tiempos muertos y sobre todo se inculcará la filosofía en todos los trabajadores para que se sostenga a través del tiempo.
- Declaración de los objetivos:
 - Rediseñar las áreas que no tienen un flujo Lean y que generan descontento en los trabajadores al tener movimiento extra y tiempos muertos.
 - Establecer un lugar correcto de almacenamiento de herramientas de mano, aprovechando los espacios.
 - Inculcar la filosofía Lean en los trabajadores, específicamente 5S para un lugar de trabajo organizado, limpio y seguro.
 - Realizar seguimiento de los indicadores clave de desempeño y hacer reuniones para discutir la forma de mejorar.
 - Aumentar la eficiencia de mantenimiento de las herramientas en todas las tecnologías que se operan en Perú.
- Alcance del proyecto:

El punto de inicio del proyecto aplica desde el día 01/10/2018, con mi ingreso como pasante en el departamento de mantenimiento, donde después del entrenamiento recibido por

Ingenieros de Mantenimiento de Ecuador y Colombia, se puso en marcha la metodología Lean en Perú.

Los entregables del proyecto se realizan cada dos semanas con una presentación llamada “*ESC meeting*”, en la cual se expone al equipo de trabajo: los indicadores de mantenimiento, los desperdicios encontrados, los planes de acción para mitigarlos, y finalmente las mejoras realizadas.

Algunas limitaciones del proyecto serían la disponibilidad de los técnicos de mantenimiento, debido a que, ellos generalmente están muy ocupados para la realización de cualquier mejora. El dinero también es una limitación para invertir en el proyecto, puesto que, mensualmente se destina a otras cosas, como reparaciones, materiales y suministros (M&S), etc.

El fin del proyecto tiene fecha 30/09/2019 con la finalización de mi periodo de prácticas profesionales, para dicho día se debe haber realizado y documentado los rediseños hechos en laboratorio y taller, los VSMs por herramienta para medición de tiempos y evaluación de causas, las mejoras por área, aplicación de 5S y auditorías, finalmente, las pruebas de realización de *ESC meetings*.

- Equipo de trabajo:

Tabla 2. Equipo de trabajo

Nombre y Apellidos	Cargo	Rol en el Proyecto
Sergio Roque Santillán	Supervisor de Mantenimiento	Aprobador de gastos y decisiones
Josymar Sirlupu Zapata	Pasante de Mantenimiento	Líder y responsable de aplicar Lean
Jorge Luis León Guerrero	Técnico Líder Mecánico	Responsable de Lean
José Farroñan Flores	Técnico Electrónico	Responsable de Lean
Karina Negrón Iwasaki	Técnica Electrónica	Responsable de Lean
Miguel Coronado Gonzales	Técnico Mecánico	Responsable de Lean
Miguel Valladolid Madrid	Técnico Mecánico	Responsable de Lean
Kenjo López	Técnico Electrónico	Responsable de Lean

Fuente: Elaboración propia

- Hitos del proyecto:

Se realizó el siguiente diagrama de Gantt con el plan detallado del proyecto:

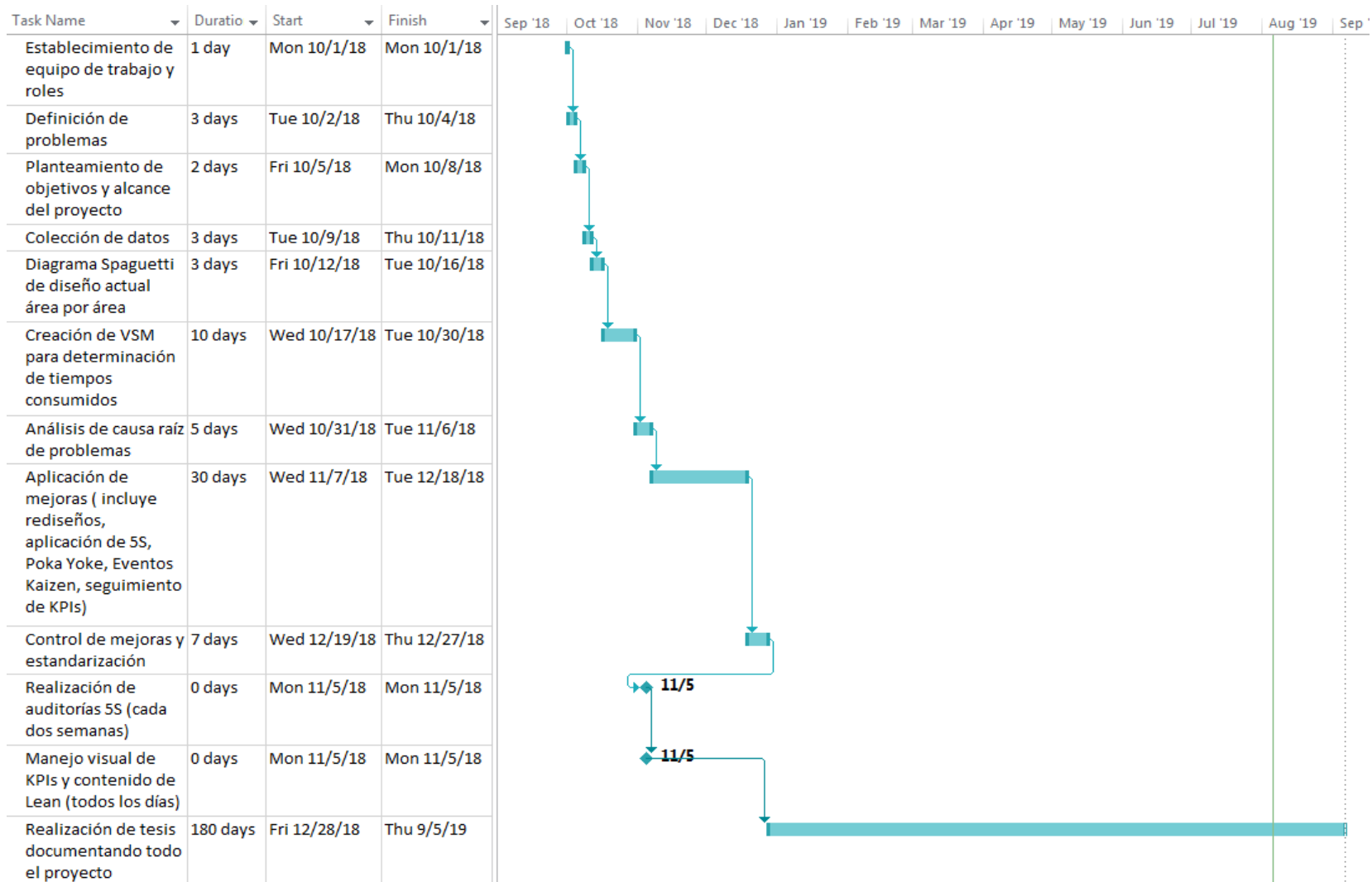


Figura 12. Diagrama de Gantt del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.2. Disposición actual

Es de vital importancia, explicar la distribución actual del laboratorio y taller de mantenimiento de D&M, para luego enfocarnos en las mejoras de área por área. Por tal motivo, se elaboró un plano con el programa SketchUp:

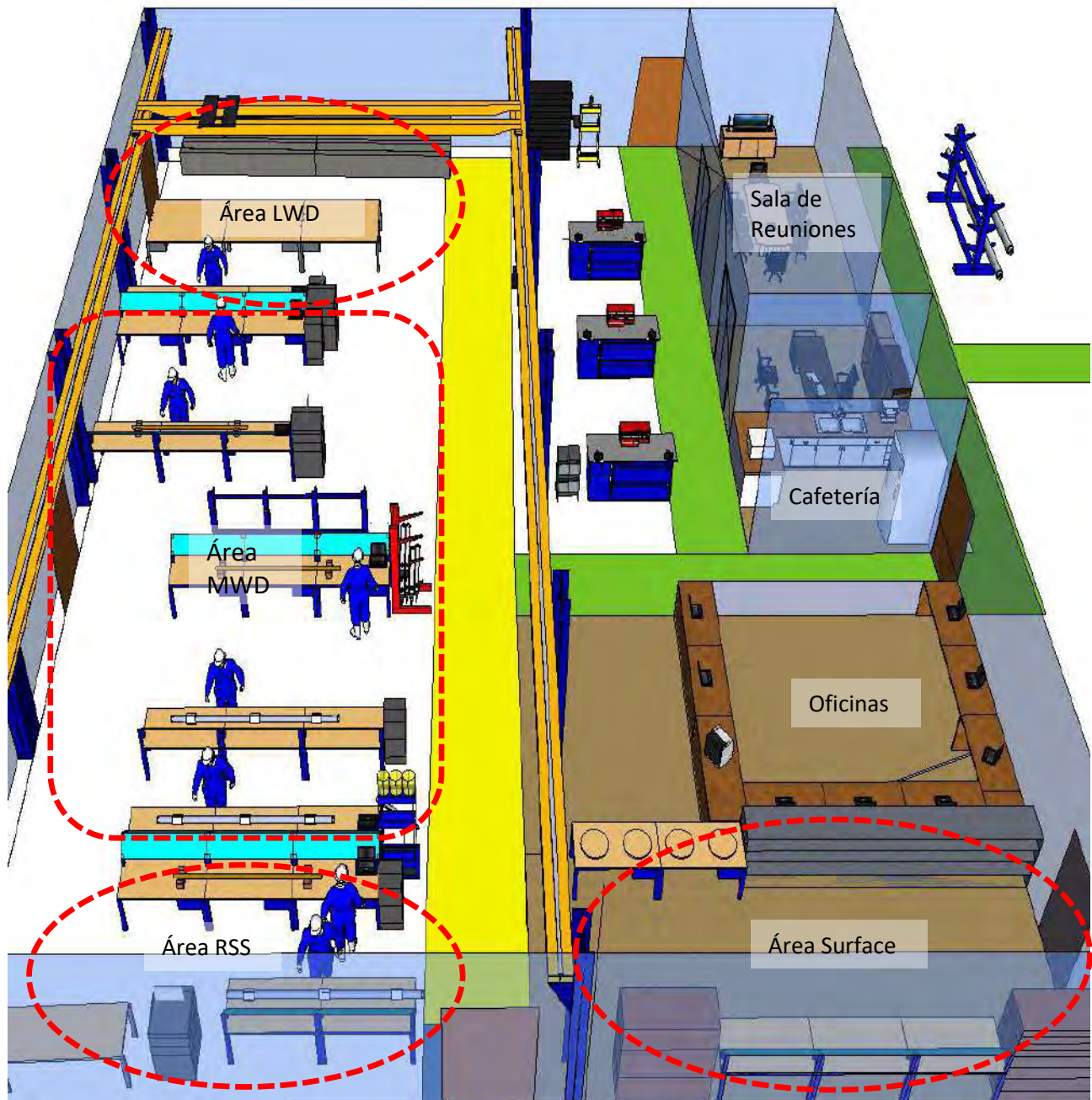


Figura 13. Plano de Laboratorio de D&M
Fuente: Elaboración propia

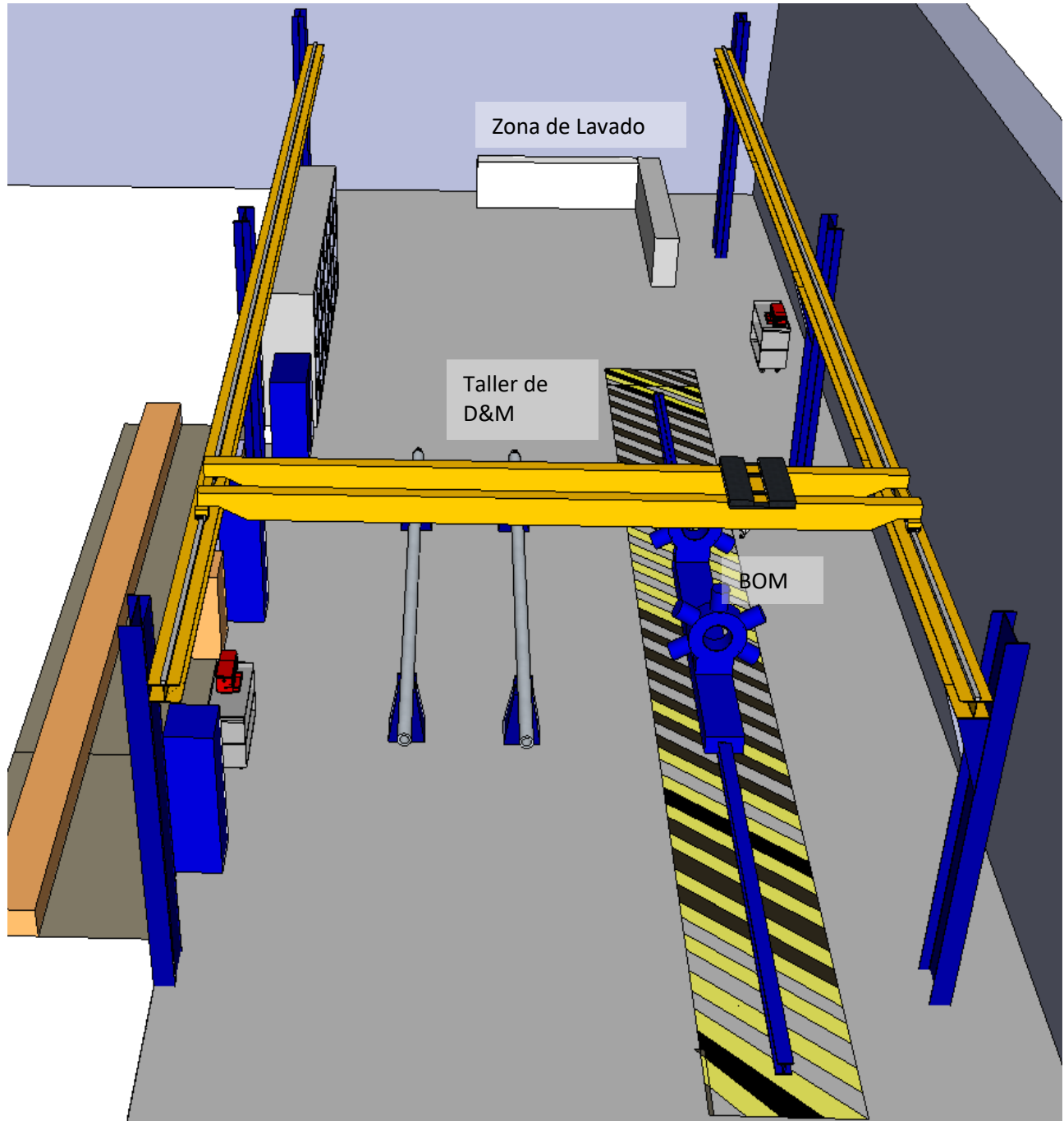


Figura 14. Taller de D&M
Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Colección de datos mediante Diagrama *Spaguetti*

El propósito principal de desarrollar el diagrama *Spaguetti* de todas las áreas es identificar cualquier movimiento innecesario y cuantificar la situación para ayudar a desarrollar un proceso nuevo y mejorado. Así, se utilizó el programa Microsoft Visio para diseñar el área y dibujar el flujo, además de tener las fotografías como prueba del estado en que se encontraba. Adicional a ello y para un mejor entendimiento se realizó un diagrama de operaciones.

a. *Surface*

Los equipos de *Surface* (MCMP, ASAP, IRCT, Sensores, etc.) llegan de pozo, ingresan por la puerta derecha y se trasladan al rack de equipos para ser almacenados hasta que se les realice el mantenimiento. Este rack se encuentra en el centro del área tal como muestra la figura 17 y es ahí donde se verifica el estado en el cual llegaron los equipos y se etiquetan con cinta RONG.

La técnica de mantenimiento retira el equipo del rack central y lo traslada a la mesa de estación de trabajo, realiza el mantenimiento del equipo en el plazo establecido y luego lo traslada a la mesa de limpieza, para posteriormente embalarlo en la mesa de empaque con *stretch film*.

Finalmente, regresa al rack de equipos ubicado en el centro, se etiqueta con cinta RITE que significa listo para ser despachado y, si se requiere el equipo en pozo, se retira por la puerta ubicada en la parte izquierda.

El flujo muestra problemas como:

- Desperdicios en Movimiento
- No hay un flujo definido en el área
- Alto inventario en el laboratorio
- No hay separación de equipos RONG y RITE, pues todos se encuentran juntos en el rack central
- Riesgo de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) al haber espacio limitado para tránsito

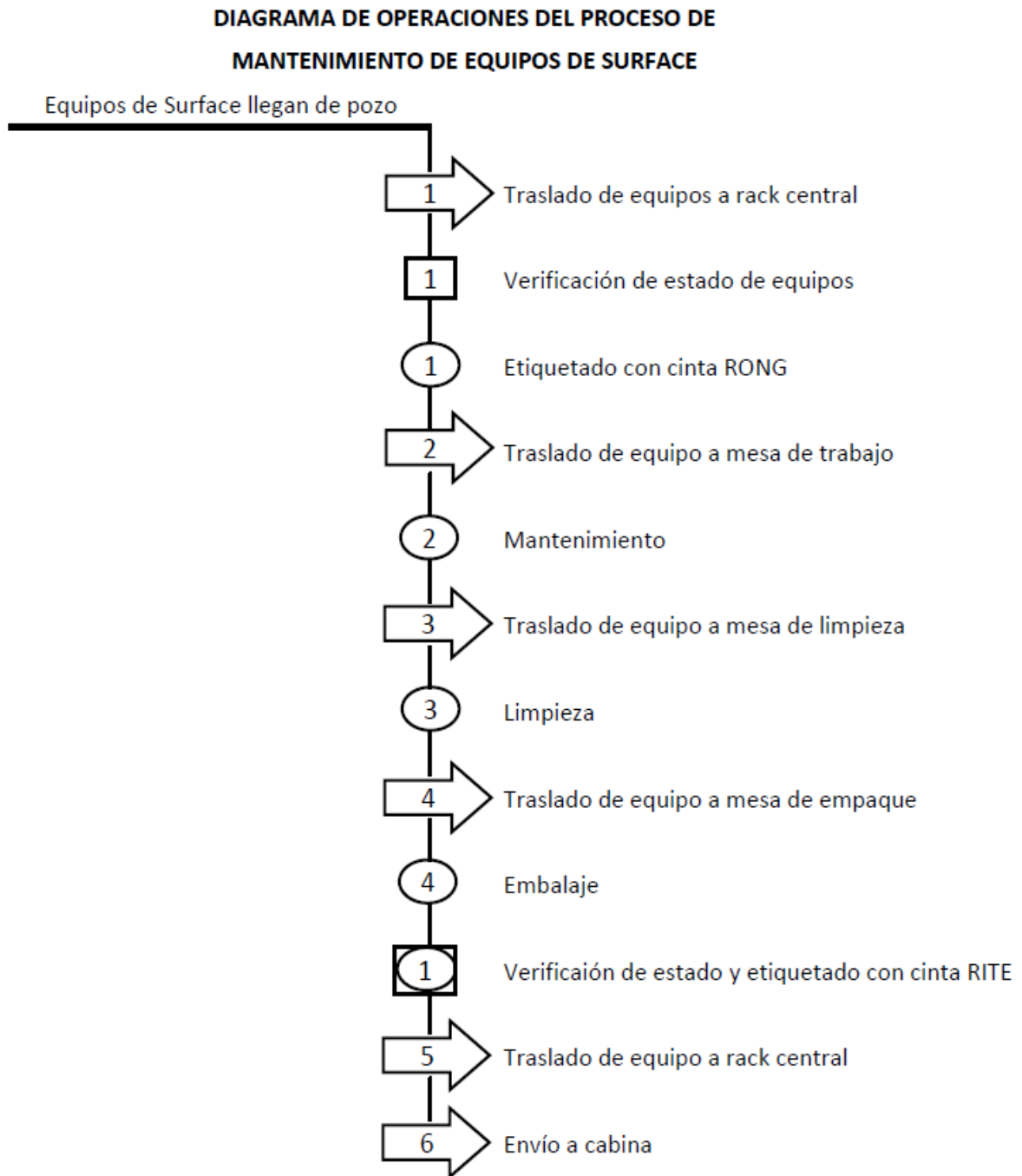


Figura 15. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de equipos de Surface
Fuente: Elaboración propia

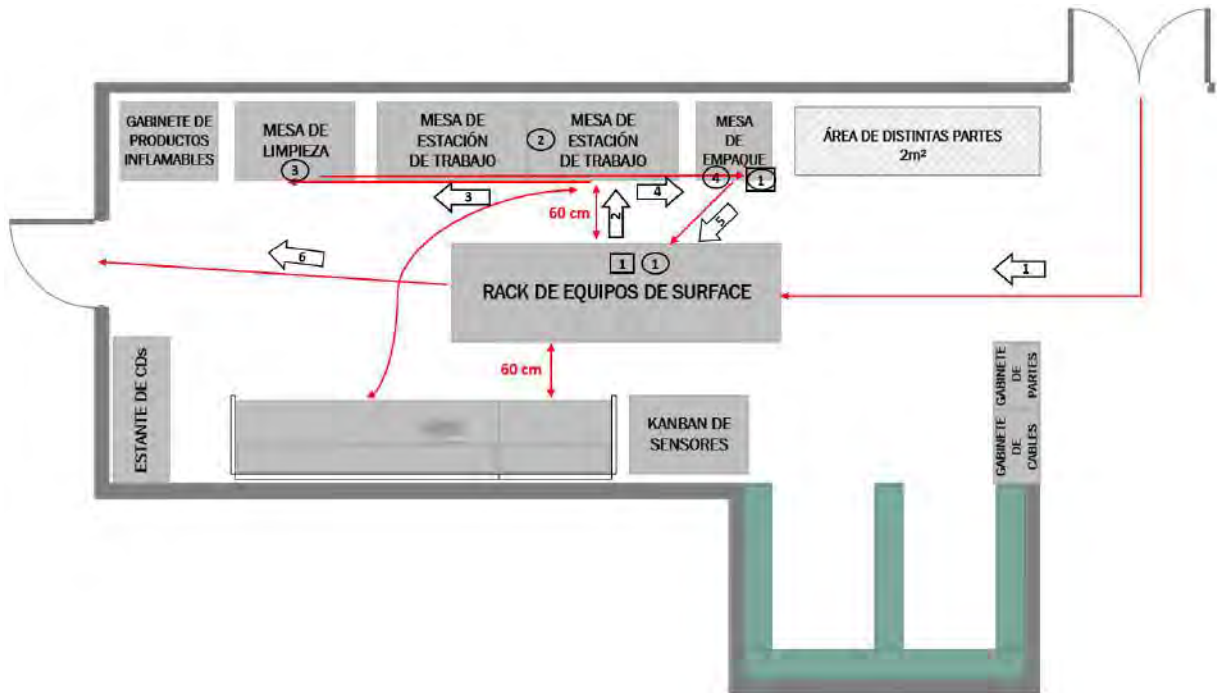


Figura 16. Diagrama Spaguetti del área Surface
Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Fotografía del área Surface
Fuente: Fotografía propia

b. *Rotary Steerable System (RSS)*

En RSS se ejerce el mantenimiento a la herramienta *PowerDrive*, esta herramienta no es muy pedida por los clientes para la perforación. Por tal motivo, se considera el mantenimiento muy rara vez, pero a pesar de eso se realizó el diagrama *spaghetti*.

El técnico de mantenimiento traslada la herramienta *PowerDrive* a la mesa de estación de trabajo, allí se desarma y se separa la parte mecánica y electrónica, se evalúan los componentes y aquellos que tienen fallas se etiquetan con cinta RONG y se colocan en dicho estante.

Primero, se empieza por la parte electrónica, la cual se trabaja en la mesa de trabajo 2 de la derecha, una vez terminado el mantenimiento se retorna a la mesa de trabajo número 1 y se deja ahí hasta que nuevamente se ensamble en la etapa final.

Algunos componentes mecánicos se trabajan en la mesa de trabajo 3 y son aquellos que requieren inspección e ir al gabinete de productos inflamables ubicado en *Surface*, se trabaja y cuando se termina se ubican en el estante de partes FXD.

En la mesa de trabajo 4 se realiza mantenimiento a otras partes mecánicas llamadas: *Bearing Pack*, *Magnet Housing* y *Torquer*, para ello se requiere ir al *Kanban* de servicio y retirar las bandejas para ejercer el mantenimiento, cuando se termina se ubica en el estante de partes FXD.

Debido a que ya se terminaron los mantenimientos, ahora corresponde ensamblar, para ello se une la parte mecánica y electrónica que esperaron en la mesa de trabajo 1 y se ensamblan con los componentes ubicados en el estante FXD. Finalmente, la herramienta *PowerDrive* queda lista.

El flujo muestra problemas como:

- Desperdicios en movimiento
- Desplazamiento extra al ir a buscar al gabinete de productos inflamables ubicado en *Surface* (ambas áreas lo requieren)
- Existe un rack de equipos que ocupa espacio y no se utiliza por no tener cálculo estructural
- Estante de equipos RONG y FXD juntos

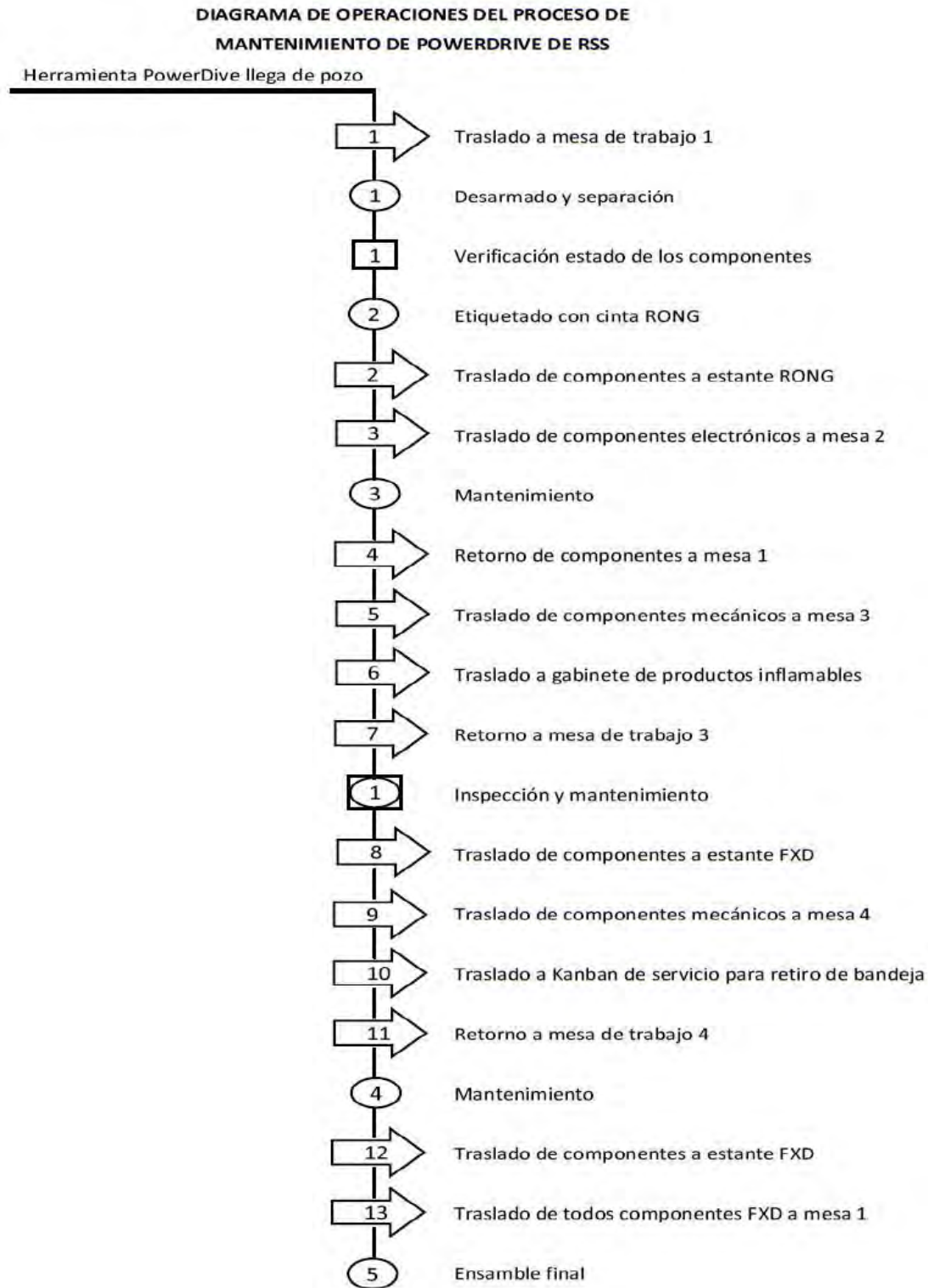


Figura 18. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de PowerDrive de RSS
Fuente: Elaboración propia

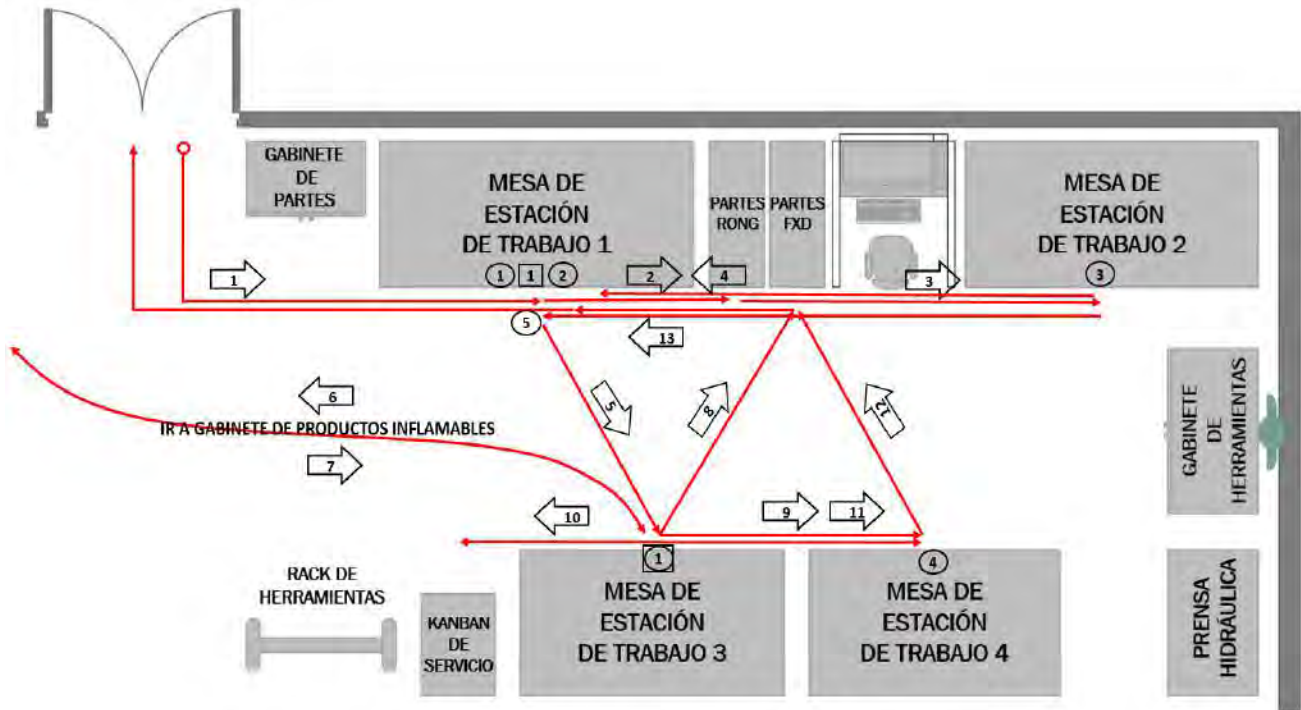


Figura 19. Diagrama Spaguetti del área RSS

Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Fotografía del área RSS

Fuente: Fotografía propia

c. *Measurement While Drilling Mechanic (MWD Mechanic)*

En *MWD Mechanic* se realiza el mantenimiento de la herramienta *TeleScope*, los dos componentes de esta herramienta a los que se les realiza servicio de mantenimiento en esta área son modulador (MMA) y turbina (MTA).

Luego de separarse estos dos componentes en taller, ingresan al laboratorio y se ubican en el rack con cinta RONG, hasta esperar que el técnico les realice el mantenimiento.

Un solo técnico realiza el mantenimiento de ambos componentes, empezando por el MTA, entonces lo retira del rack, lo traslada a la mesa de estación de trabajo y empieza a realizarle el mantenimiento respectivo, para ello tiene que ir al estante de *Kanban* de servicio para retirar la bandeja de M&S que requerirá para dicho mantenimiento.

Terminando el servicio de mantenimiento, traslada la herramienta a la estación de vacío para el retiro de aire y cámaras de aceite. Finalmente, el MTA queda operativo y se traslada al rack nuevamente, pero esta vez con etiqueta FXD, que significa listo para armarse al DTU.

Ahora es el turno de realizar el mantenimiento de MMA y para ello se realizan los mismos pasos que con MTA.

Se observa que en *MWD Mechanic*, hay una mesa de trabajo dedicada al mantenimiento de una herramienta llamada *Slimpulse*, sin embargo, esta no opera en Perú desde el 2013. Debido a eso, es un área no usada, pero las mesas de trabajo están empotradas.

El flujo muestra problemas como:

- Desperdicios en movimiento al trasladarse de la mesa de trabajo de MMA al estante de *Kanban* de servicio para retirar la bandeja de M&S que requerirá para dicho mantenimiento.
- Desperdicio en falta de utilización de una mesa de trabajo para una herramienta que no se usa desde 2013.

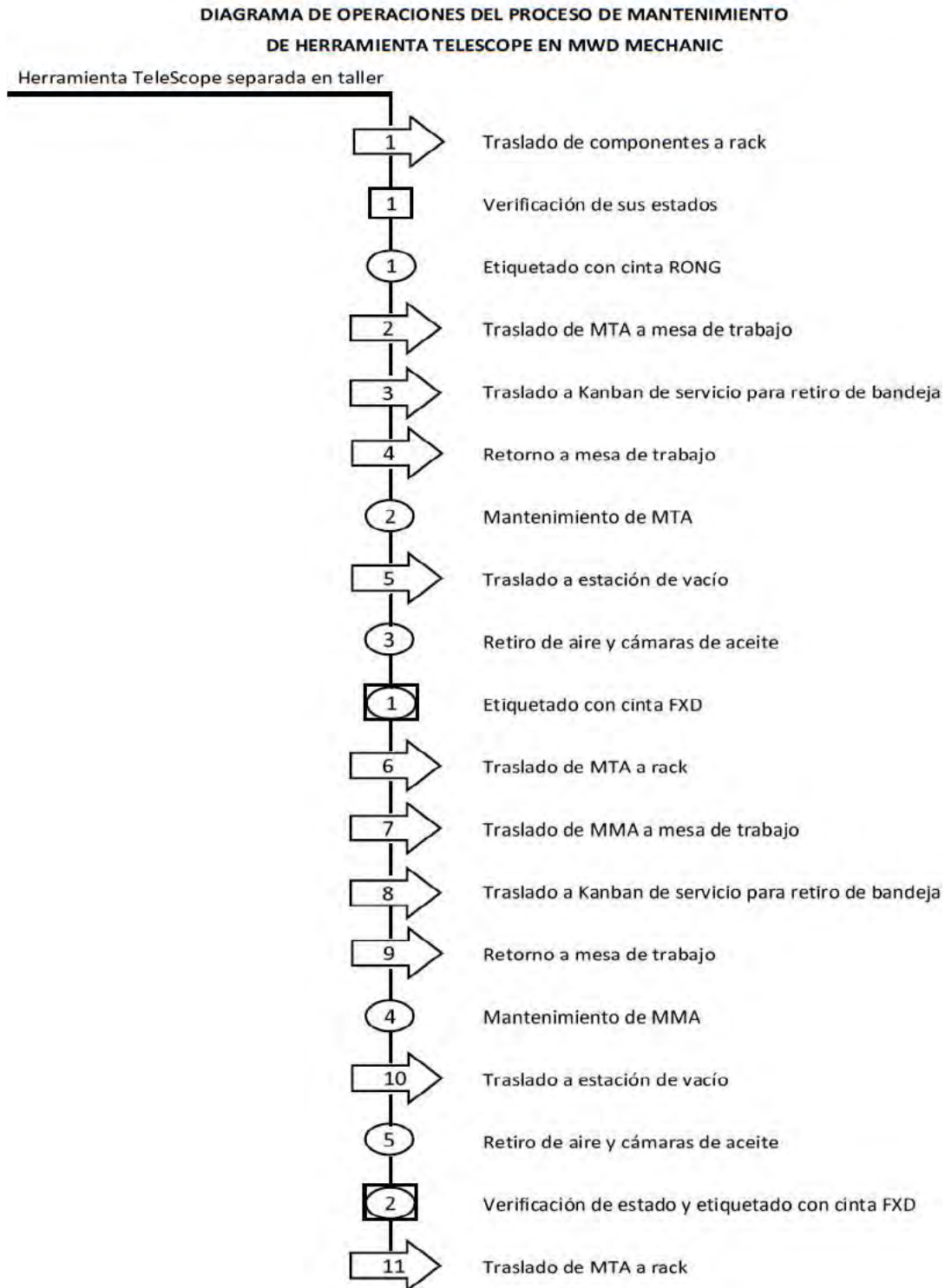


Figura 21. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de TeleScope en MWD Mechanic
Fuente: Elaboración propia

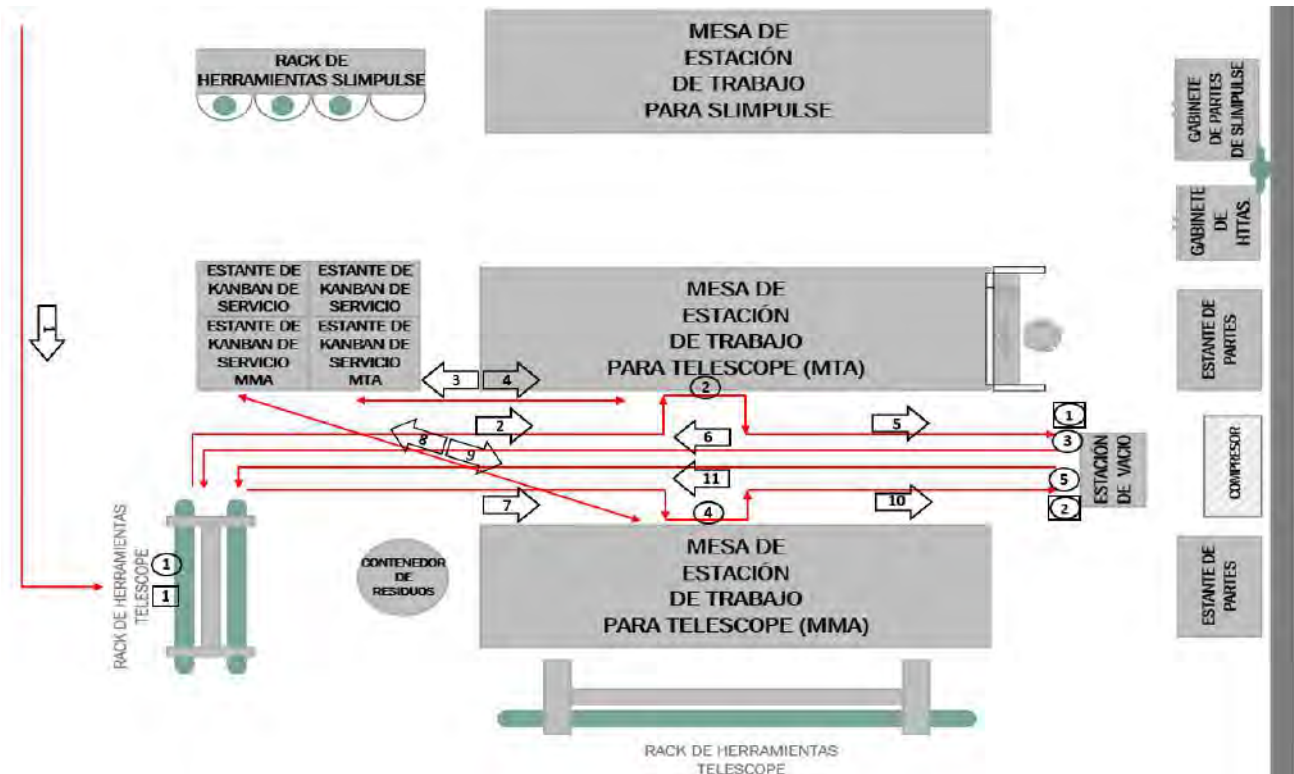


Figura 22. Diagrama Spaguetti del área MWD Mechanic

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Fotografía del área de MWD Mechanic

Fuente: Fotografía propia

d. *Measurement While Drilling Electronic (MWD Electronic)*

En *MWD Electronic* se realiza el mantenimiento de la herramienta *TeleScope*, el componente de esta herramienta al que se le realiza servicio de mantenimiento en esta área se llama PMEAs.

Luego de separarse el PMEAs del DTU completo, es decir del *TeleScope* armado, ingresa al laboratorio y se ubica en el rack con cinta RONG, hasta esperar que el técnico le realice el mantenimiento.

El técnico retira el PMEAs del rack, lo traslada al *winche table*, que es una máquina donde se separa la electrónica del *housing*, esto con el fin de darle mantenimiento en la mesa de trabajo. Se traslada al estante con *Kanban* de servicio, retira la bandeja y empieza su labor. Terminado esto, nuevamente se traslada al *winche table* para armar la electrónica al *housing*.

Posteriormente, con la ayuda del puente grúa se traslada el PMEAs al *Roll Test*, para realizar una simulación de pozo, finalizado esto se coloca en el rack nuevamente, pero con cinta FXD.

Como comentario adicional, se puede observar un flujo desde el *winche table* hasta la mesa de *Slimpulse*. Como en el caso de MWD Mechanic, esta mesa no se utiliza, por el tema que esa tecnología dejó de emplearse en Perú. Por tal motivo el técnico decidió emplearla para dar mantenimiento a una parte de *TeleScope* (IWOB).

Cabe resaltar que muy rara vez se realiza mantenimiento de IWOBs, además hay varios IWOBs almacenados en el estante FXD listos para ser usados, así como también hay IWOBs en estante RONG esperando por servicio. El IWOB se retira del *housing* en el *winche table*, se traslada al estante RONG, se le realiza mantenimiento en la mesa, finalizado esto se almacena en el estante FXD.

El flujo muestra problemas como:

- Lejanía entre la mesa de trabajo de PMEAs hasta el estante de *Kanban* de servicio para retirar la bandeja de M&S que se requerirá para el mantenimiento
- Problema de flujo para el mantenimiento de IWOB

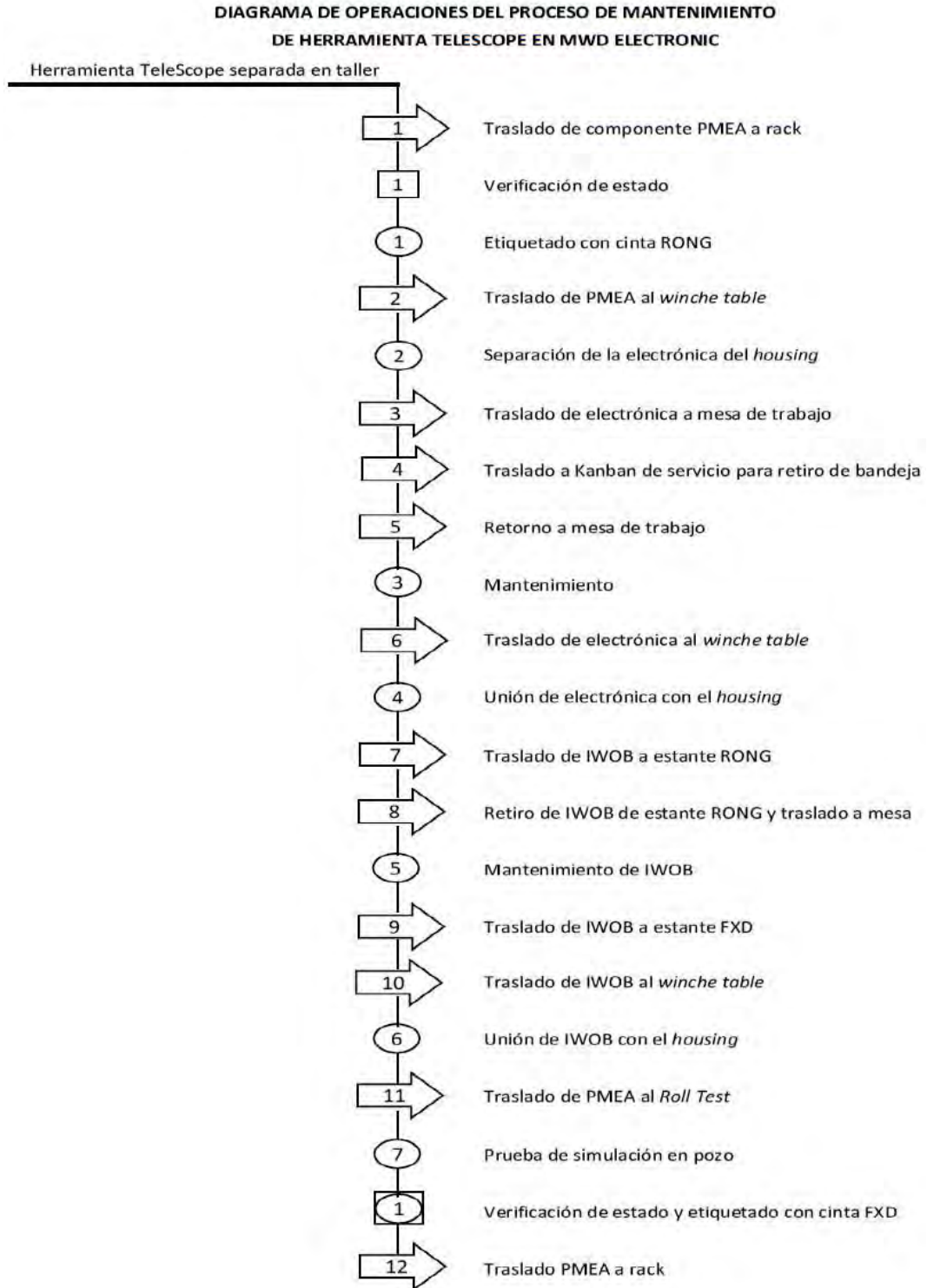


Figura 24. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de TeleScope en MWD Electronic
Fuente: Elaboración propia

e. *Logging While Driling (LWD)*

En *LWD* se realiza el mantenimiento de la herramienta *arcVision*. La parte electrónica llamada *E-chassis* es la que recibe servicio de mantenimiento en la mesa de trabajo del laboratorio.

Como siguiente punto se realiza el *heat teast*, en el horno, que es una prueba para determinar si la herramienta tiene el mismo funcionamiento tanto en frío como en caliente.

Al terminar, regresa a la mesa de trabajo y el técnico de traslada al estante de *Kanban* de servicio a retirar el kit o la bandeja para empezar con el mantenimiento.

Es necesario que, durante el mantenimiento, el técnico se traslade al otro lado de la mesa, esto es porque necesita retirar cables ubicados en una cajonera y se instalen en la herramienta.

Como paso siguiente, se dirige hace la estación de soldadura y la traslada a la mesa para soldar algunas partes, al terminar nuevamente la retorna. Luego, se traslada a la otra mesa de trabajo a retirar de una cajonera un multímetro y *special tools* necesarios para terminar el mantenimiento de la herramienta. Finalmente, al terminar todos los pasos y la herramienta ya esté lista, se traslada hacia el taller.

El flujo muestra problemas como:

- Recorrido largo para ir hacia la estación de soldadura
- Multímetro y *special tools* muy lejos de la mesa de trabajo, lo que genera movimiento extra

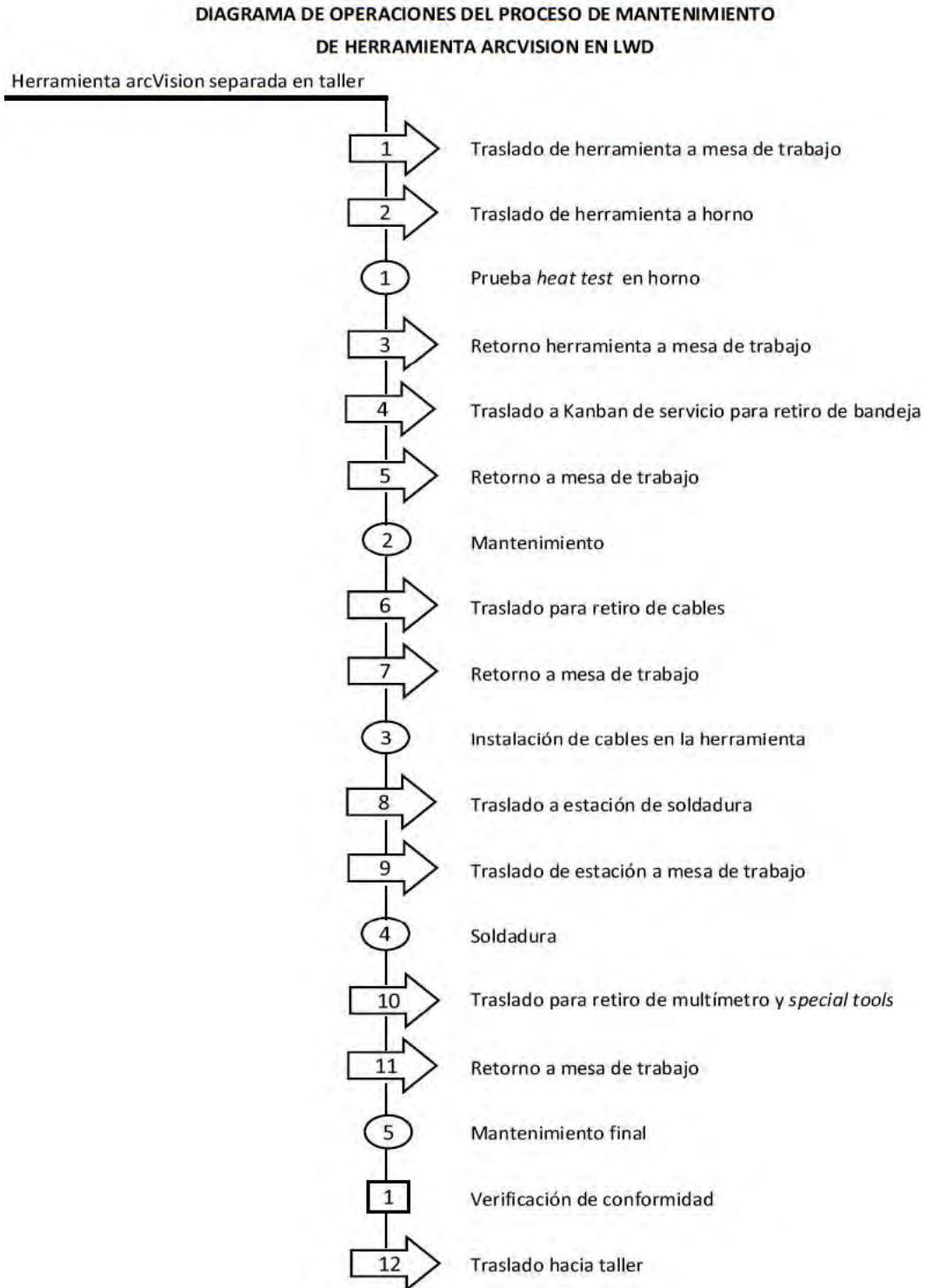


Figura 27. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de arcVision en LWD
Fuente: Elaboración propia

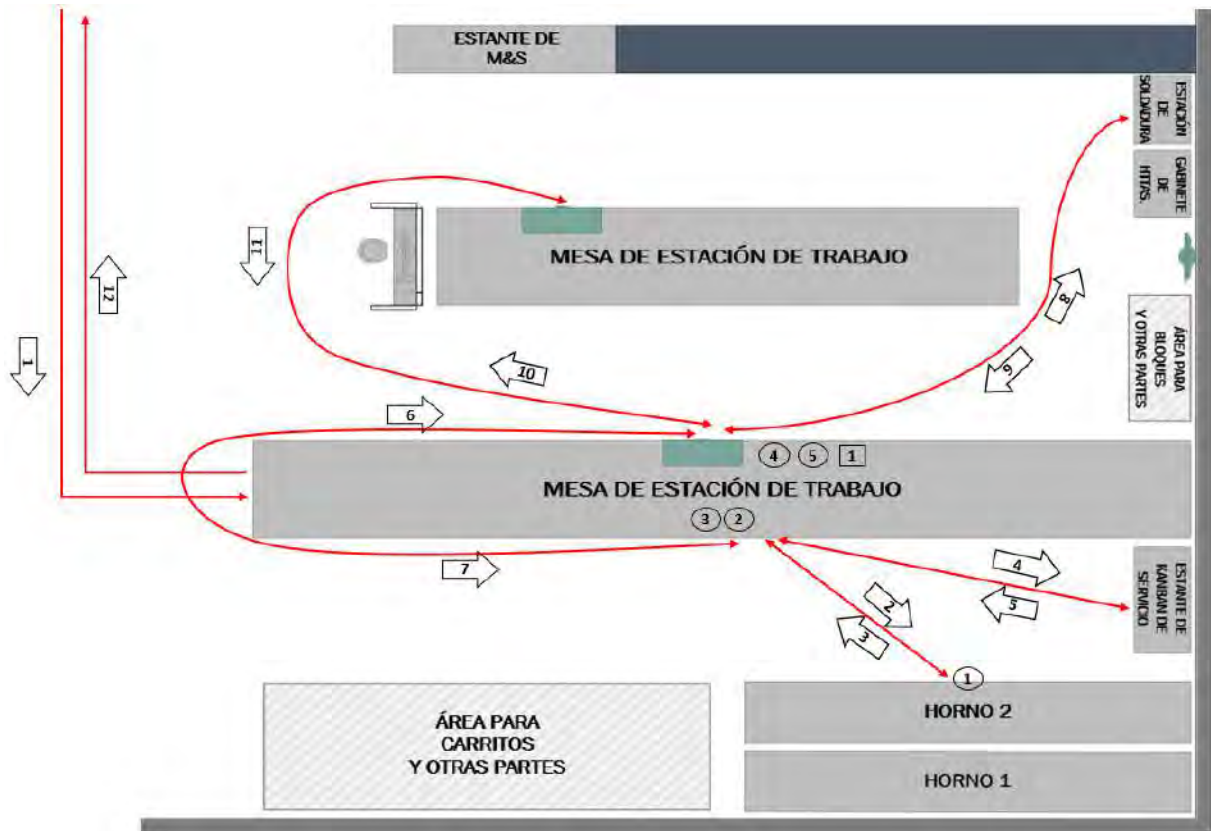


Figura 28. Diagrama Spaguetti del área LWD

Fuente: Fotografía propia



Figura 29. Fotografía del área de LWD

Fuente: Elaboración propia

f. *Powerpak*

El mantenimiento de *Powerpak* o motor se realiza en el taller de D&M. Cabe resaltar que en el taller también se utiliza la *Break out machine* (BOM), para separar las herramientas anteriormente mencionadas.

El flujo inicia cuando llega la herramienta de pozo y se traslada a la zona de lavado para ser limpiada exteriormente, posterior a ello, se mueve hacia la BOM para ser separada (*Bearing Section* y *Power Section*) y se retorna a la zona de lavado para nuevamente limpiar y lavar los componentes.

Luego, se traslada a la zona de inspección donde se revisan las conexiones y se evalúan las partes. Al estar todo conforme se traslada a una especie de plato en el piso donde se realiza el ensamble de la *Bearing Section*.

Para realizar este ensamble, es necesario trasladarse a la mesa de trabajo, realizar el mantenimiento, ir hacia el rack de partes de motor y al estante de herramientas para revisar las diferentes partes y el M&S necesario para ensamblar, resaltando que algunas partes se pueden reusar, mientras que otras no.

Las partes de motor conformes se trasladan al punto de ensamble y se empieza a unir todo, cuando la *Bearing Section* finalmente esté lista, se traslada a la BOM para unirse nuevamente a la *Power Section*. Al quedar listo el motor o *Powerpak*, este es trasladado a un rack fuera de taller.

El flujo muestra problemas como:

- Alto Riesgo de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST): ensamble de *Bearings Section* demasiado estrecha y muy cerca de la BOM
- Riesgo de SST: área de ensamble de *Bearings Section* al lado de la zona de lavado, generando salpicaduras de agua, superficies mojadas y posibilidades de resbalarse
- Oxidación de piezas de motor por exposición al agua
- Flujo concentrado en una parte de taller, sin aprovechar los demás espacios existentes
- La mesa de *Bias Unit*, es una mesa utilizada para PowerDrive dentro de RSS, sin embargo, como se mencionó anteriormente esta es una herramienta que no es muy pedida por los clientes para la perforación. Entonces, ocupa un espacio amplio en el taller que debe ser recolocado

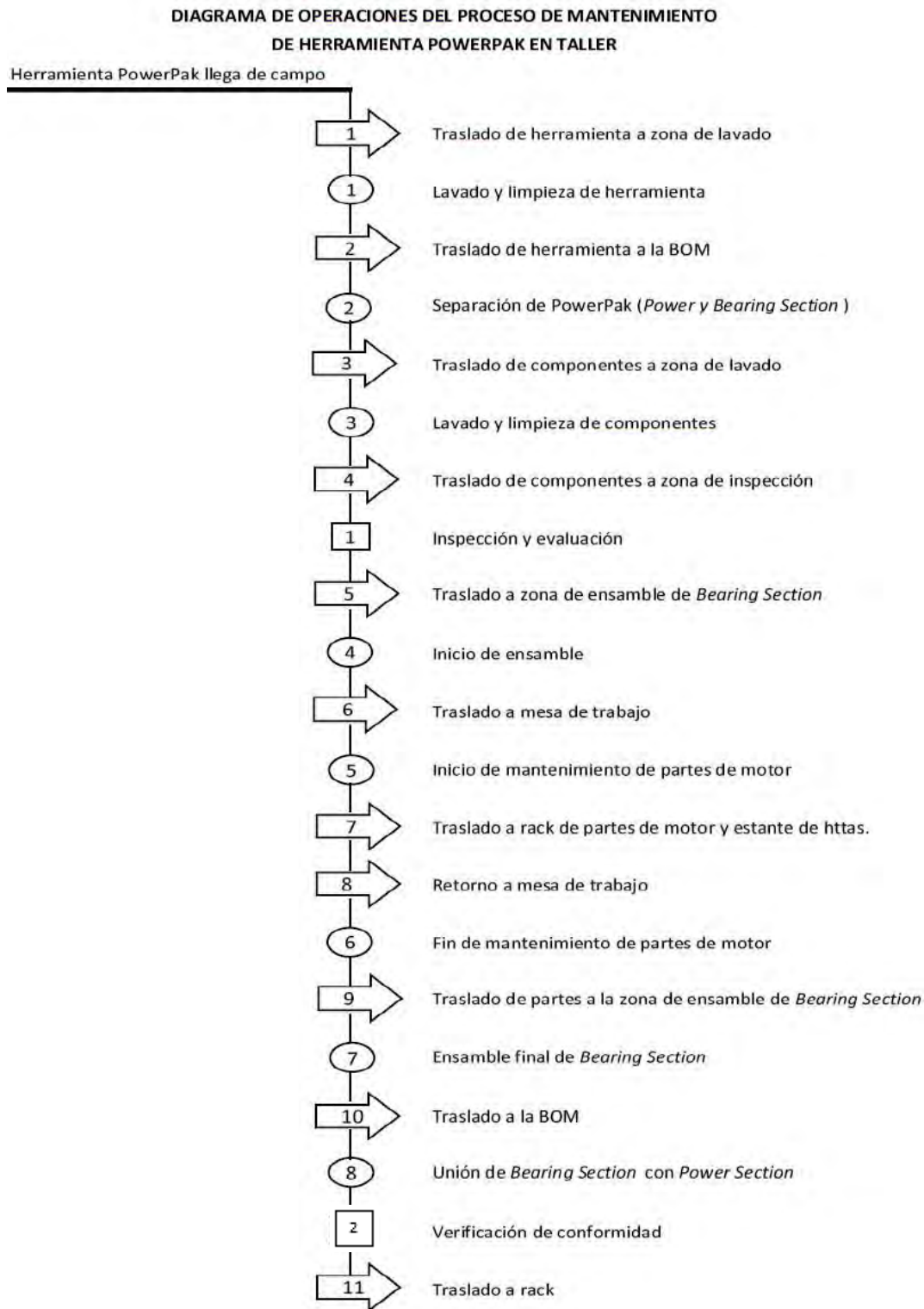


Figura 30. Diagrama de Operaciones del proceso de mantenimiento de Powerpak en Taller
Fuente: Elaboración propia

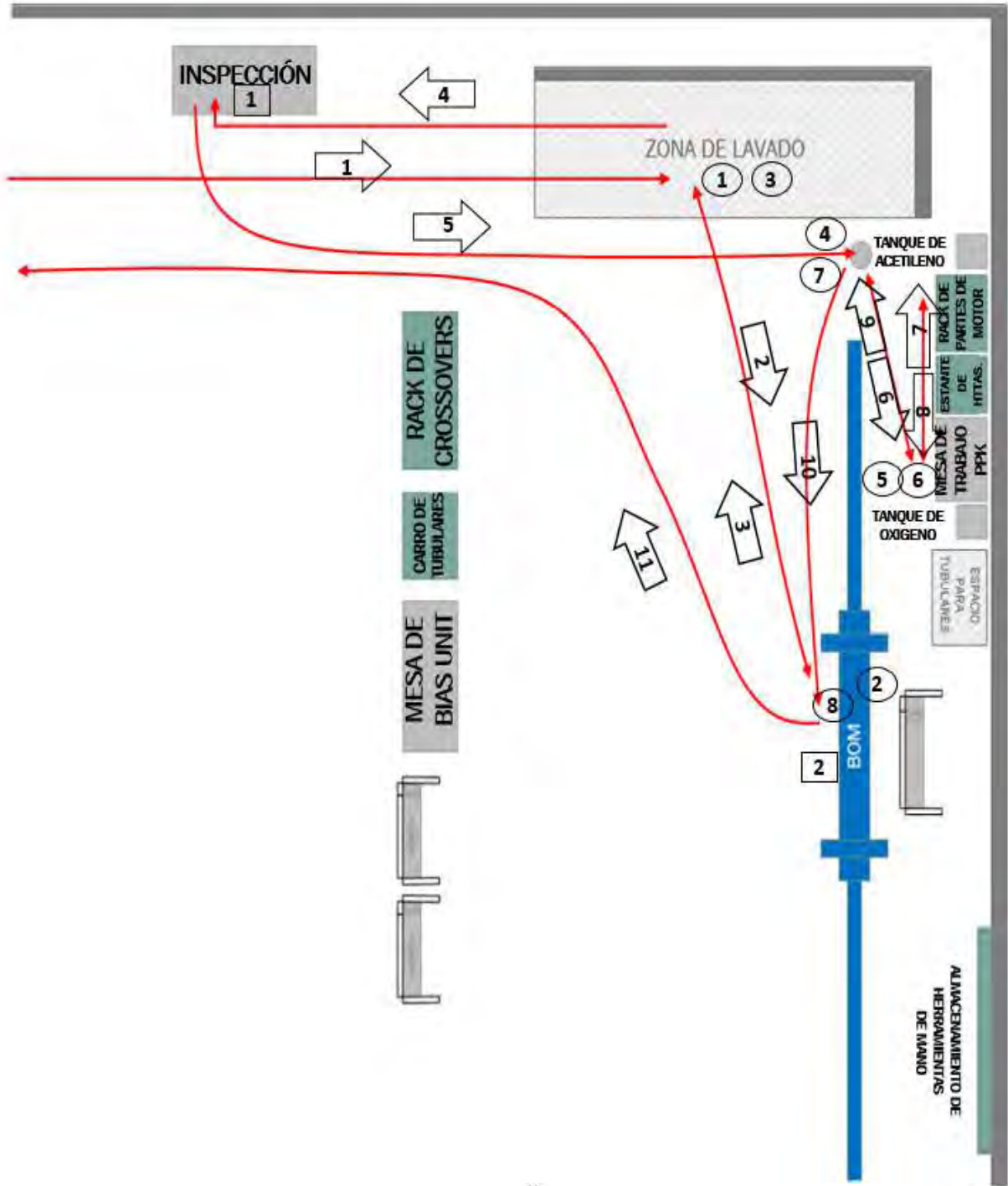


Figura 31. Diagrama Spaguetti de Powerpak en Taller
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Fotografía lateral izquierda del taller
Fuente: Fotografía propia



Figura 32. Fotografía lateral derecha del taller
Fuente: Fotografía propia

3.2.2. VSM de cada herramienta.

En la etapa de medición, resulta sumamente importante la realización de VSMS de cada tecnología o herramienta empleada en D&M Perú. Así, se podrá estar al tanto de todas las actividades que se realizan en el mantenimiento de dichas tecnologías, el tiempo que consume cada actividad, determinar los desperdicios que las retrasan y medir la eficiencia, todo ello con el fin de identificar la cadena de valor.

La técnica empleada para la realización de todos los VSMS fue por estimación, en la cual se realizó una reunión con cada técnico representante del mantenimiento de cada herramienta, quienes tienen muchos años de experiencia y saben cuánto tiempo les toma realizar todas las actividades hasta dejar la herramienta operativa. Asimismo, conocen aquellos desperdicios que los limitan en realizar algunas actividades.

Entonces, se plasmó todo el proceso en post-its, se evaluaron los tiempos y desperdicios limitantes de cada actividad y se calculó la eficiencia en base a esos tiempos. Finalmente, para corroborar la información dada, cuando llegó el momento de realizar el mantenimiento de las herramientas se realizó la supervisión y toma de tiempos verificando los datos correctos.

a. VSM de *Powerpak*

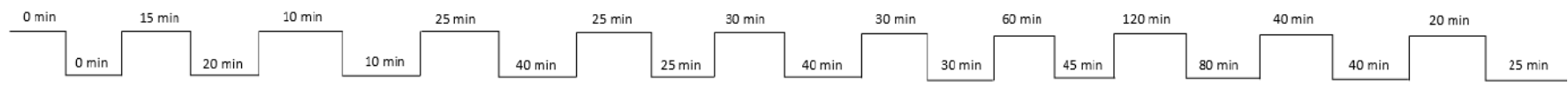
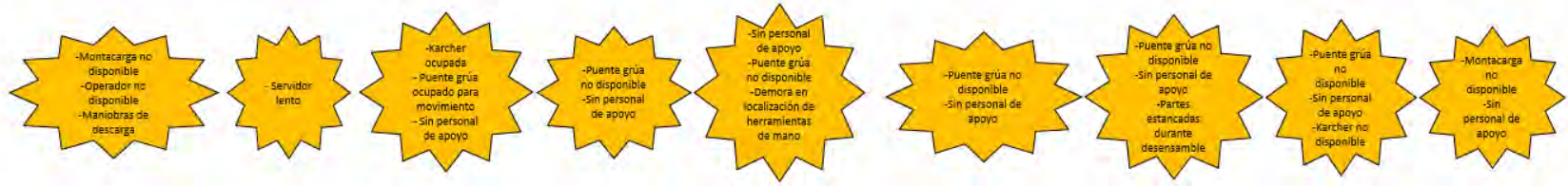


Figura 34. Reunión y elaboración de VSM de Powerpak

Fuente: Fotografía propia

OPERACIONES DE CAMPO

E N V I O
A
B
A
S
E



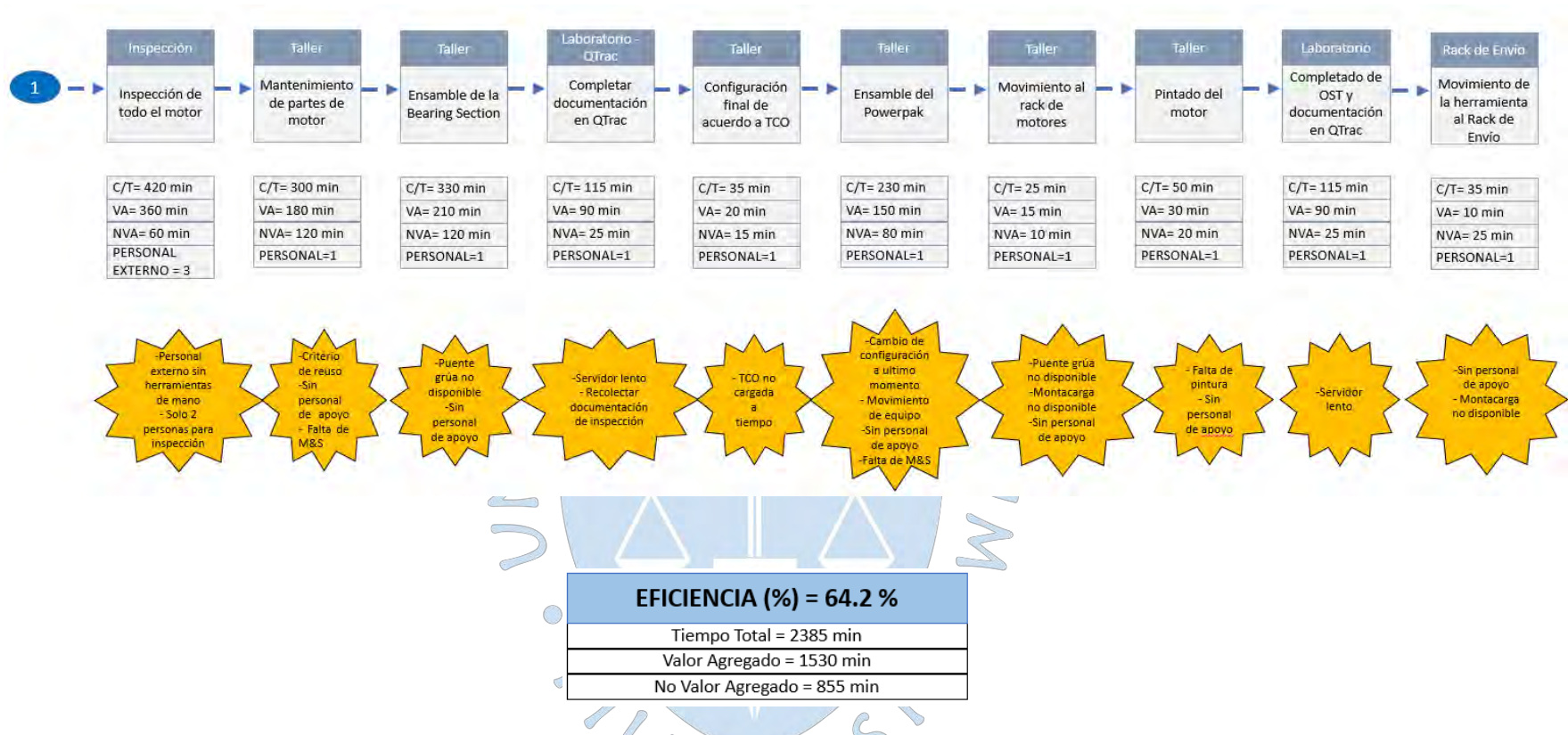


Figura 36. VSM de Powerpak
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el VSM de Powerpak se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Montacargas no disponible
- Operador de montacargas no disponible, cabe resaltar que los operadores de montacargas son los mismos técnicos de D&M que muchas veces están ocupados realizando otras actividades
- Karcher ocupada
- Puesto grúa no disponible por estar siendo ocupado por otra persona en movimiento de tubulares
- Falta de personal de apoyo, solo hay un técnico mecánico encargado del área de Powerpak, es una actividad muy pesada y de alta demanda
- Demora en localización de herramientas de mano
- Falta de M&S
- Cuadrilla de inspección no completo (personal externo)
- TCO no cargada a tiempo

b. VSM de *Surface*



Figura 37. Reunión y elaboración de VSM de *Surface*
Fuente: Fotografía propia

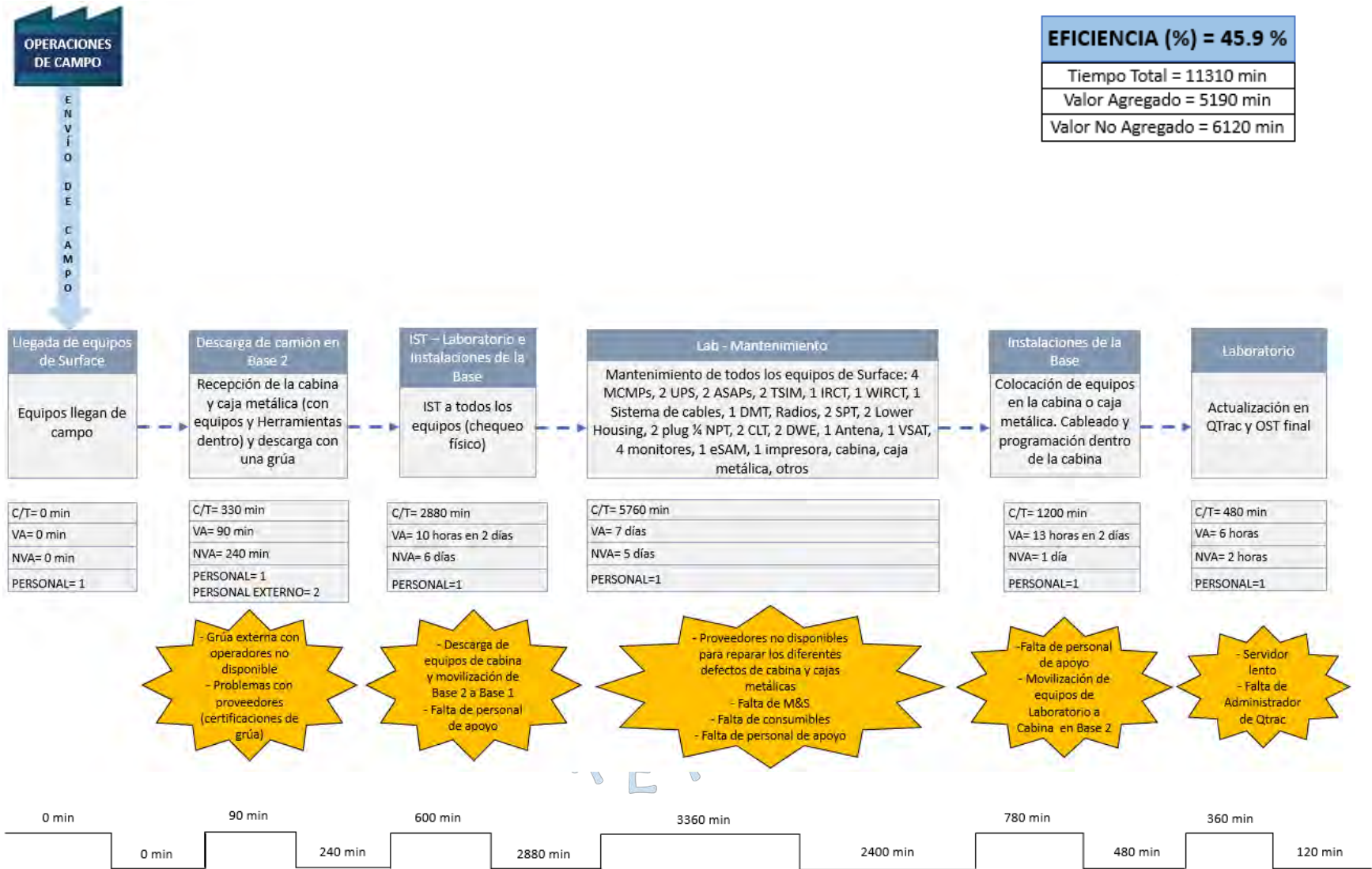


Figura 38. VSM de Surface
Fuente elaboración propia

Después de realizar el VSM de *Surface* se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Proveedores que alquilan grúa para descarga de cabina no disponibles
- Proveedores sin certificaciones de grúa actualizados u operadores sin certificación al día
- Descarga de cabina y caja metálica en Base 2
- Movilización de equipos de Base 2 a Base 1
- Falta de personal de apoyo
- Proveedores no disponibles para reparación de los defectos de cabina que regresa de pozo
- Falta de M&S y consumibles
- Movilización de equipos de laboratorio a cabina en Base 2
- Servidor lento
- Falta de Administrador de QTrac

c. VSM de *TeleScope* (MWD)



Figura 39. Reunión y elaboración de VSM de *TeleScope*
Fuente: Fotografía propia

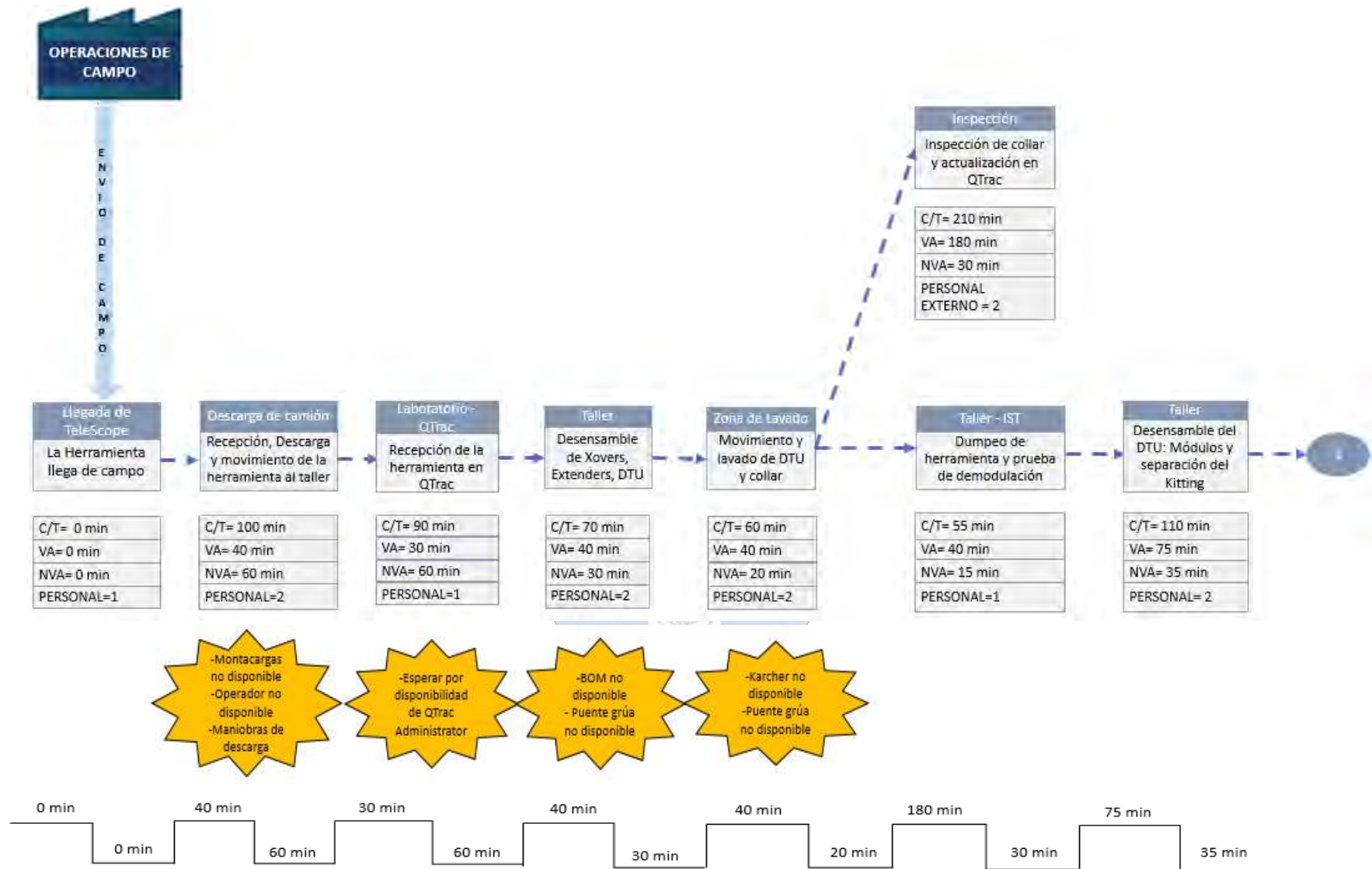


Figura 40. VSM de TeleScope

Fuente: Elaboración propia

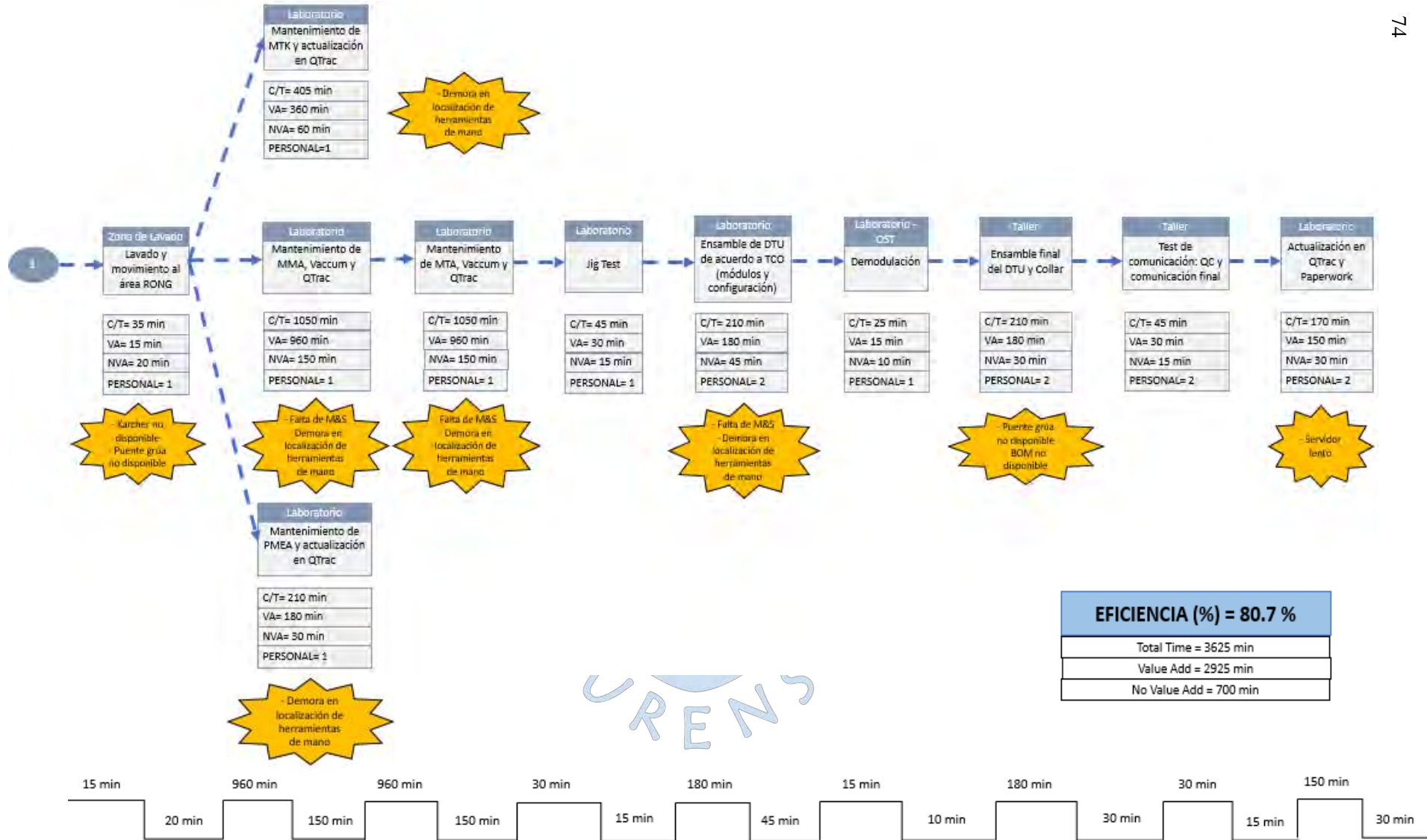


Figura 41. VSM de TeleScope
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el VSM de TeleScope se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Montacargas no disponible
 - Operador de montacargas no disponible, cabe resaltar que los operadores de montacargas son los mismos técnicos de D&M que muchas veces están ocupados realizando otras actividades
 - Karcher ocupada
 - Punte grúa no disponible por estar siendo ocupado por otra persona en movimiento de tubulares
 - Demora en localización de herramientas de mano
 - Falta de M&S
 - Servidor lento
- d. VSM de arcVision (LWD)



Figura 42. Reunión y elaboración de VSM de arcVision

Fuente: Fotografía propia

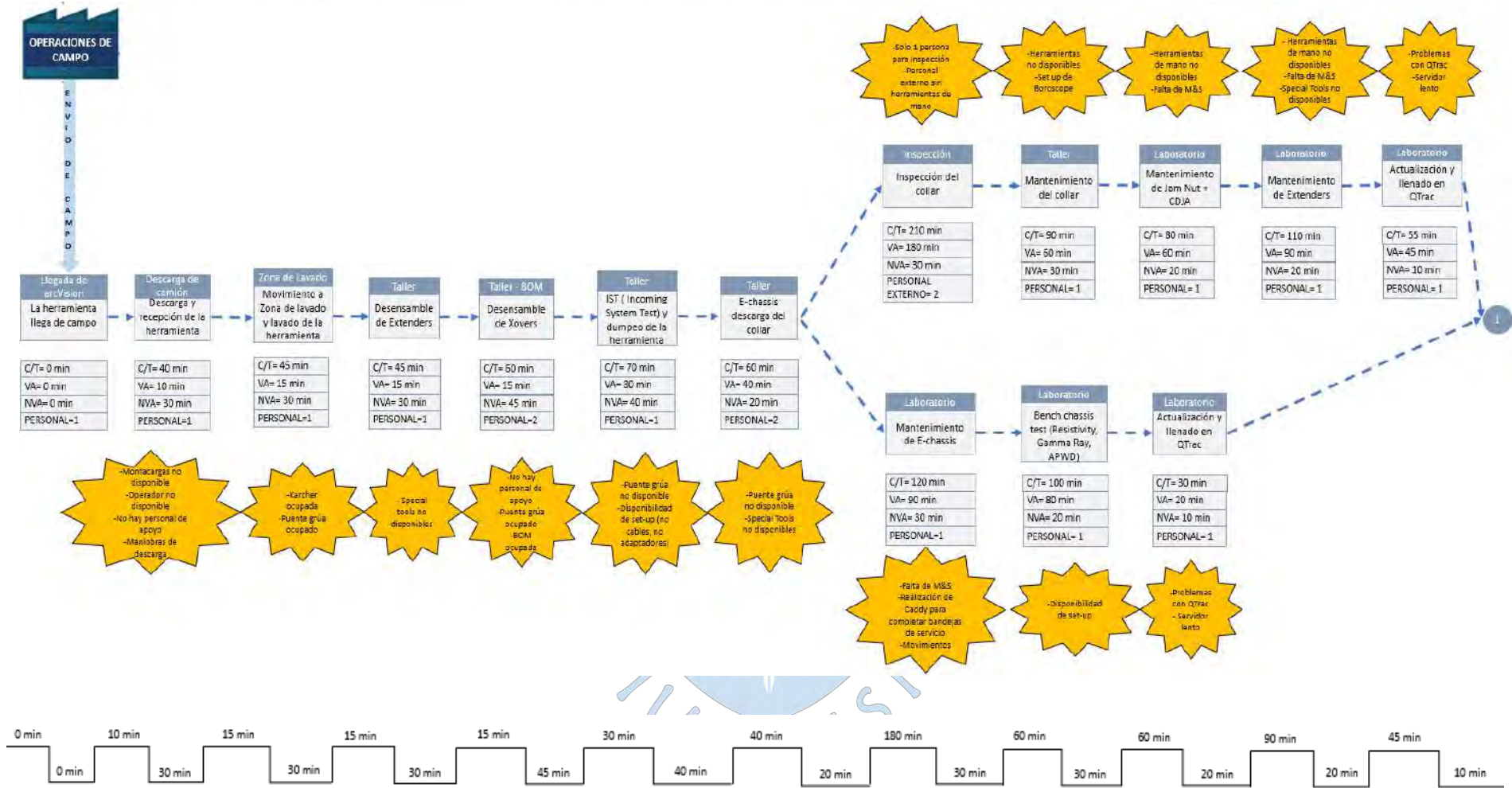


Figura 43. VSM de arcVision
Fuente: Elaboración propia

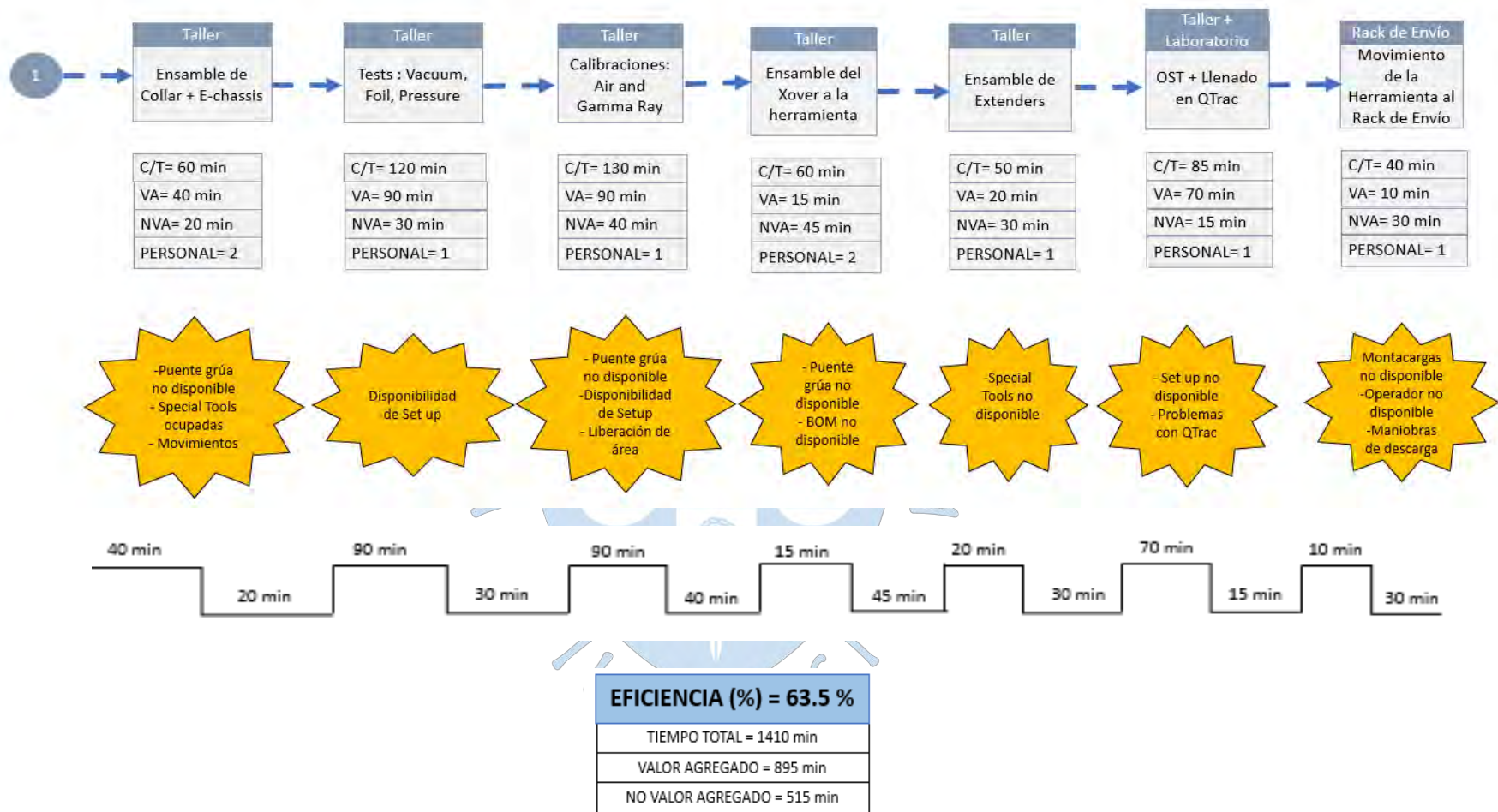


Figura 44. VSM de arcVision
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el VSM de arcVision se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Montacargas no disponible
- Operador de montacargas no disponible, cabe resaltar que los operadores de montacargas son los mismos técnicos de D&M que muchas veces están ocupados realizando otras actividades
- Karcher ocupada
- BOM no disponible
- Puente grúa no disponible por estar siendo ocupado por otra persona en movimiento de tubulares
- Demora en localización de herramientas de mano
- Herramientas para set-up no disponibles
- Falta de M&S
- Servidor lento

e. VSM de *PowerDrive* (RSS)



Figura 45. Reunión y elaboración de VSM de PowerDrive

Fuente: Fotografía propia

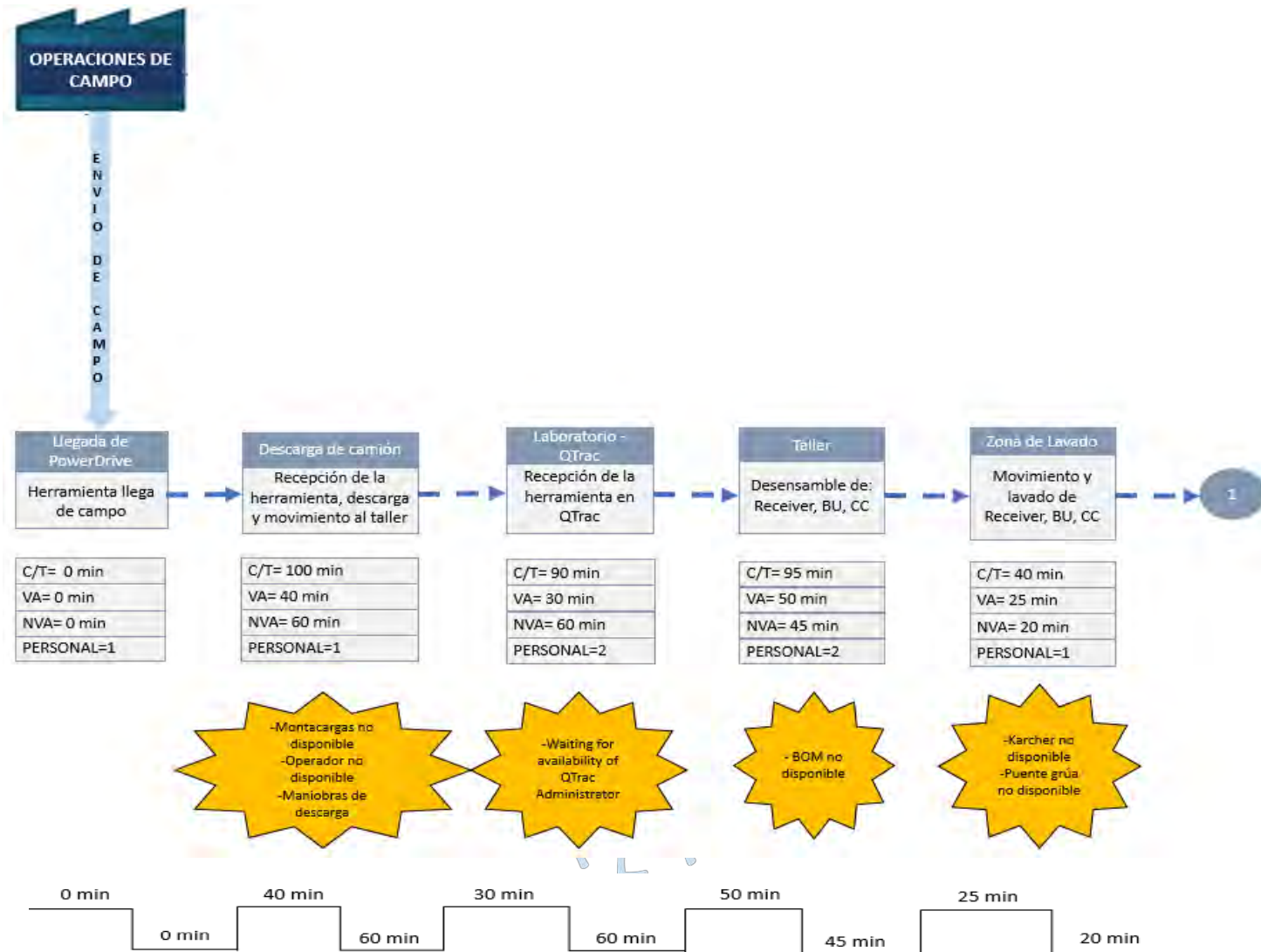


Figura 46. VSM de PowerDrive

Fuente: Elaboración propia

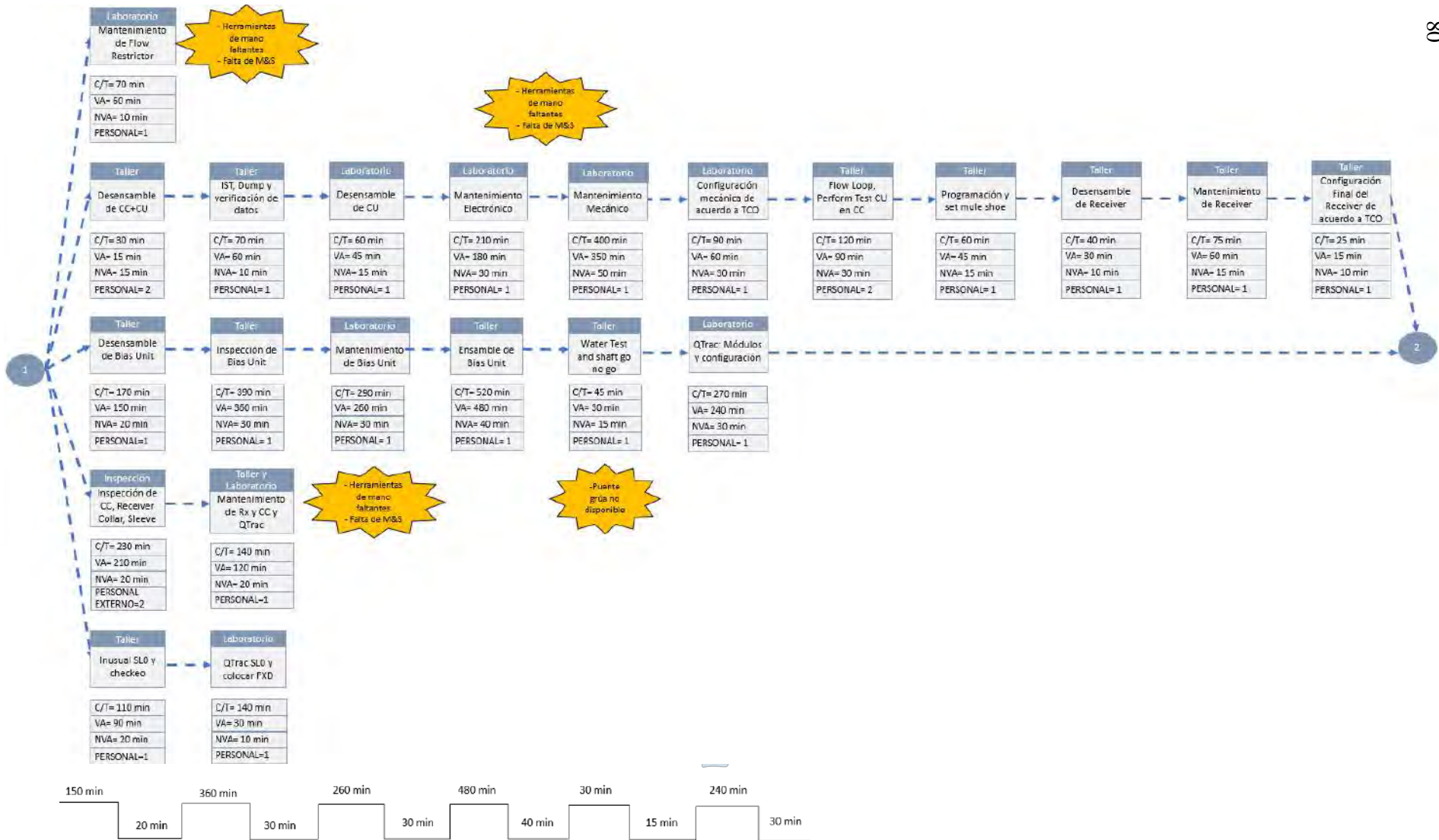


Figura 47. VSM de PowerDrive

Fuente: Elaboración propia

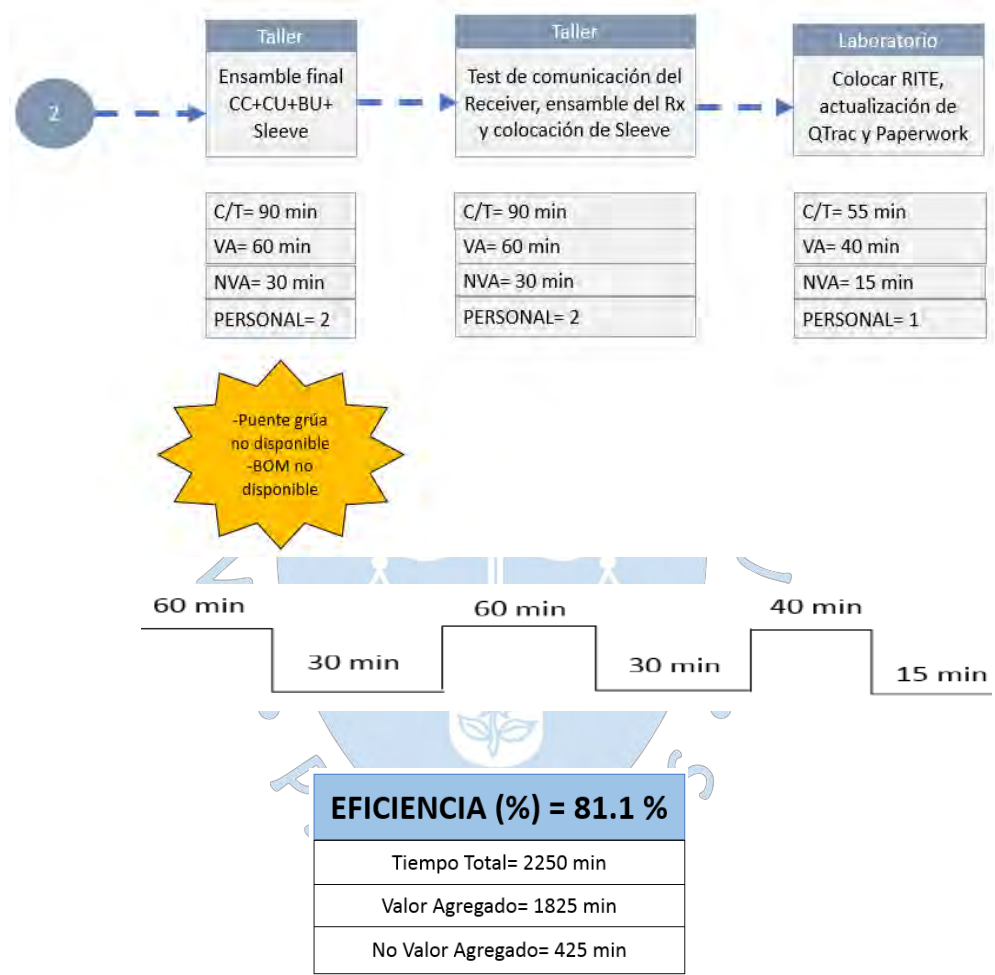


Figura 48. VSM de PowerDrive
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el VSM de *PowerDrive* se observan los siguientes desperdicios que retrasan las actividades:

- Montacargas no disponible
- Operador de montacargas no disponible, cabe resaltar que los operadores de montacargas son los mismos técnicos de D&M que muchas veces están ocupados realizando otras actividades
- Karcher ocupada
- BOM no disponible
- Puente grúa no disponible por estar siendo ocupado por otra persona en movimiento de tubulares
- Demora en localización de herramientas de mano
- Herramientas para set-up no disponibles
- Falta de M&S
- Servidor lento

3.3. Análisis del desplazamiento: determinación de causas

En la etapa Análisis se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas raíz, para luego combatirlos con mejoras. Es así, que se utilizará la herramienta diagrama causa raíz para todos los problemas mencionados anteriormente.

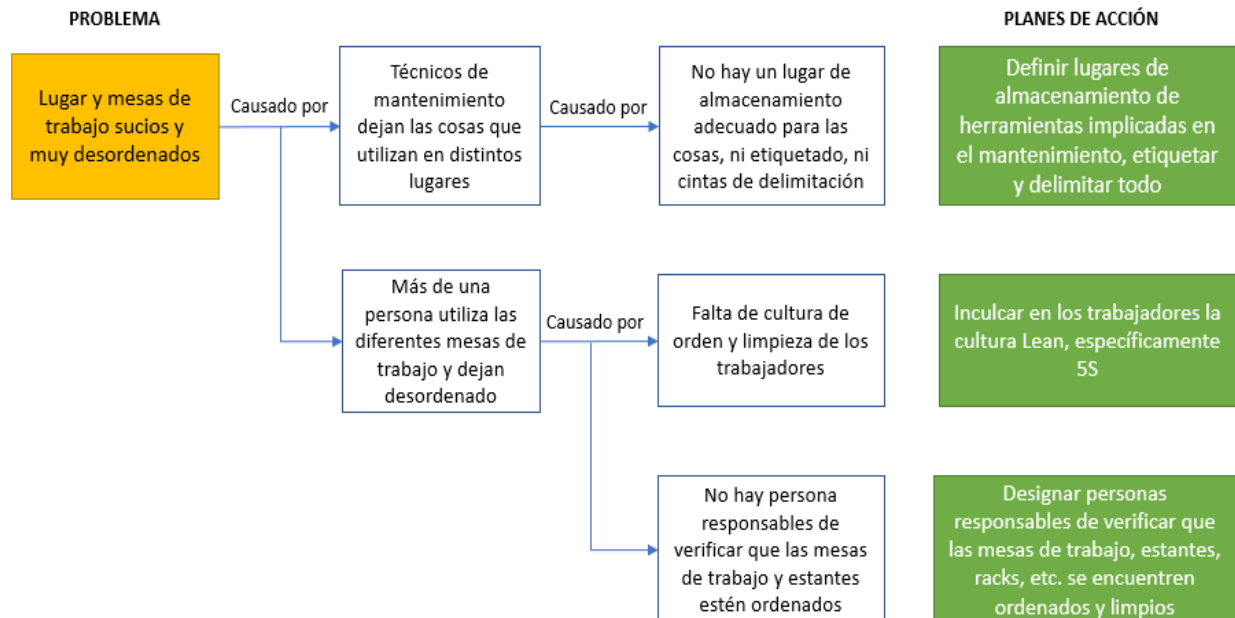


Figura 49. Diagrama de análisis causa-raíz

Fuente: Elaboración propia

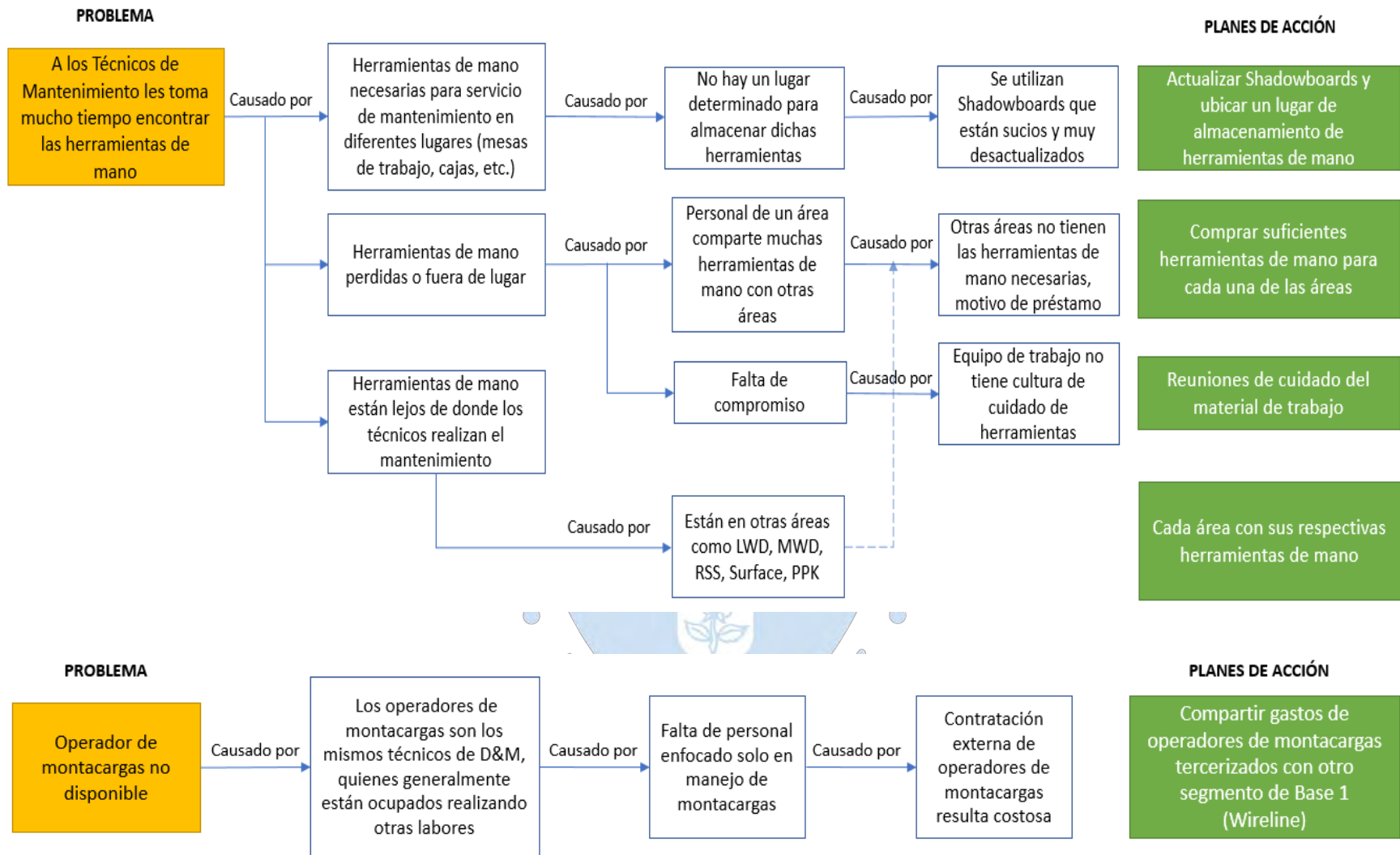


Figura 50. Diagrama de análisis causa- raíz de diversos problemas

Fuente: Elaboración propia

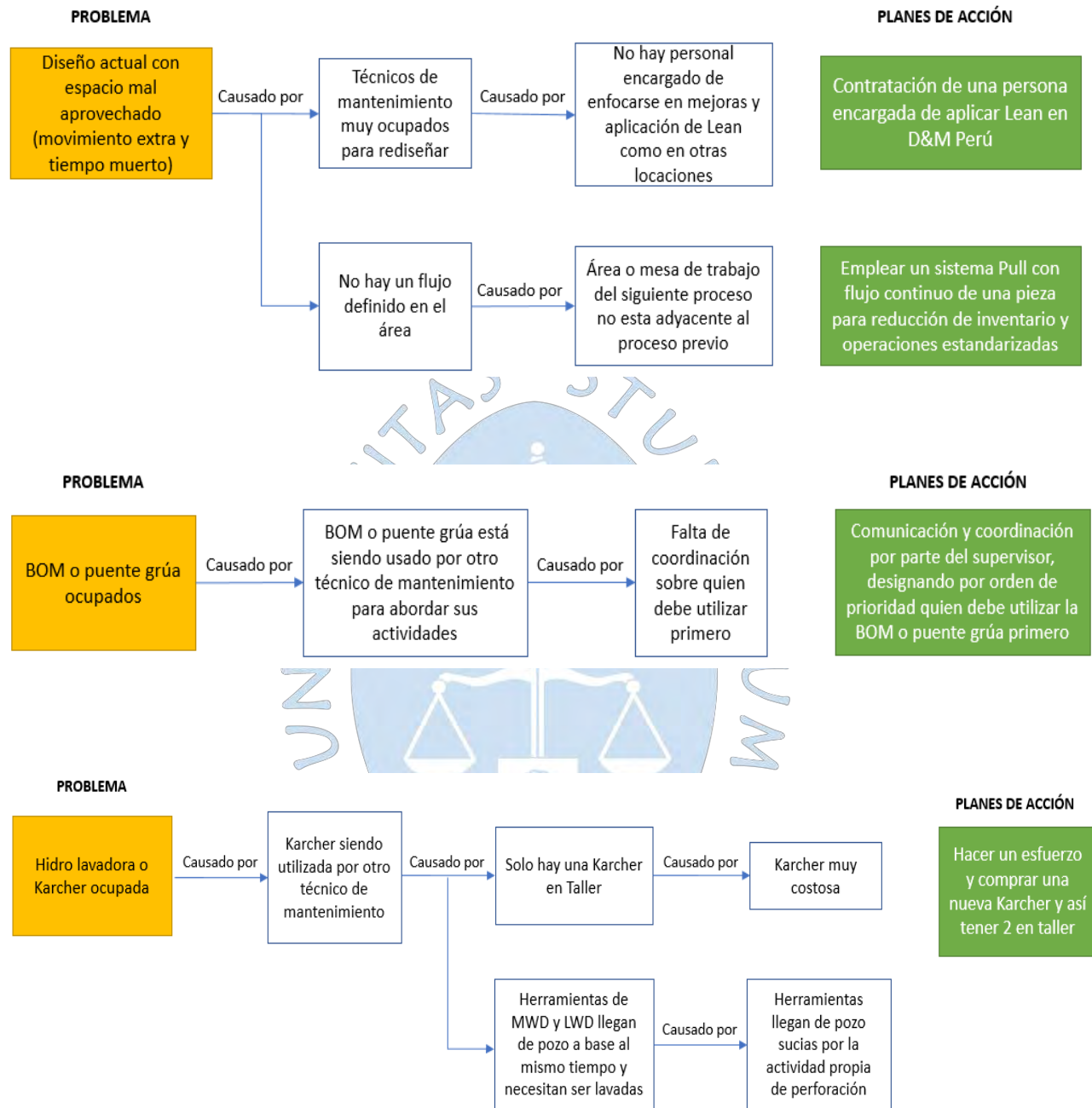


Figura 51. Diagrama de análisis causa- raíz de diversos problemas
 Fuente: Elaboración propia

3.4. Desarrollo de mejoras en el segmento

3.4.1. Diseño Lean

Combatiendo uno de los más grandes problemas observados, se rediseñaron aquellas áreas que no tenían un flujo definido. Siendo el objetivo tener un flujo continuo de una pieza, con un sistema *Pull* basado en reducción de inventarios y costos de transporte y movimiento.

Cabe resaltar que el proceso de mantenimiento no cambia, lo que cambia es el diseño de las áreas con el fin de acortar el movimiento. Por tal motivo, se referenciarán los diagramas de operaciones anteriormente realizados.

Se utilizó el programa Microsoft Visio 2013 para rediseñar el área y dibujar el flujo, y luego al llevarlo a la práctica se tomó fotografías como prueba del nuevo estado.

a. *Surface*:

Para la realización del nuevo diseño del área de *Surface*, se tomó en cuenta el diagrama de operaciones anteriormente realizado (figura 15).

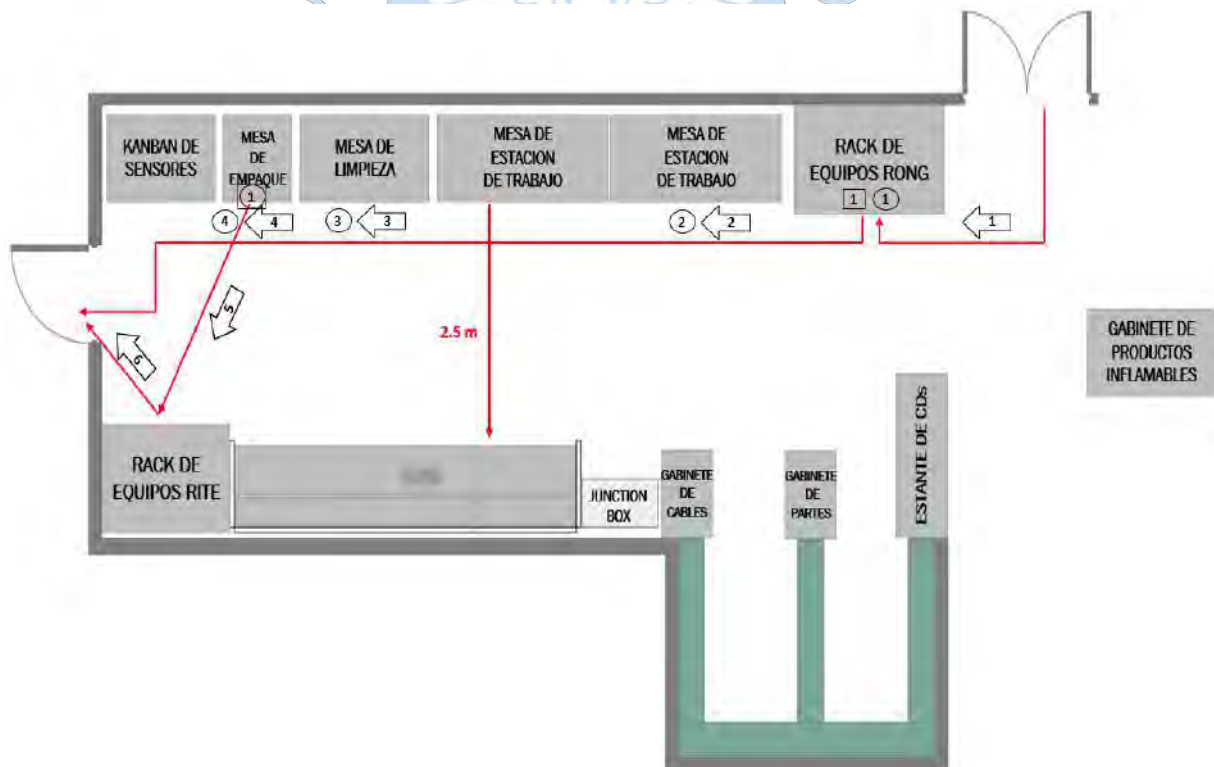


Figura 52. Área de *Surface* rediseñada

Fuente: Elaboración propia



Figura 53. Fotografía de Surface rediseñada

Fuente: Fotografía propia

Mejoras con el nuevo diseño:

- Reducción de gran movimiento innecesario
- Nuevo flujo unidireccional y continuo implementado
- Reducción de inventario en laboratorio
- Introducción de racks para separación de equipos RONG y RITE
- Riesgo de SST eliminado: optimización del espacio, mayor área de tránsito
- Riesgo de SST eliminado: movimiento de gabinete de productos inflamables

b. *Rotary Steerable System (RSS)*

Para la realización del nuevo diseño del área de *RSS*, se tomó en cuenta el diagrama de operaciones anteriormente realizado (figura 18).

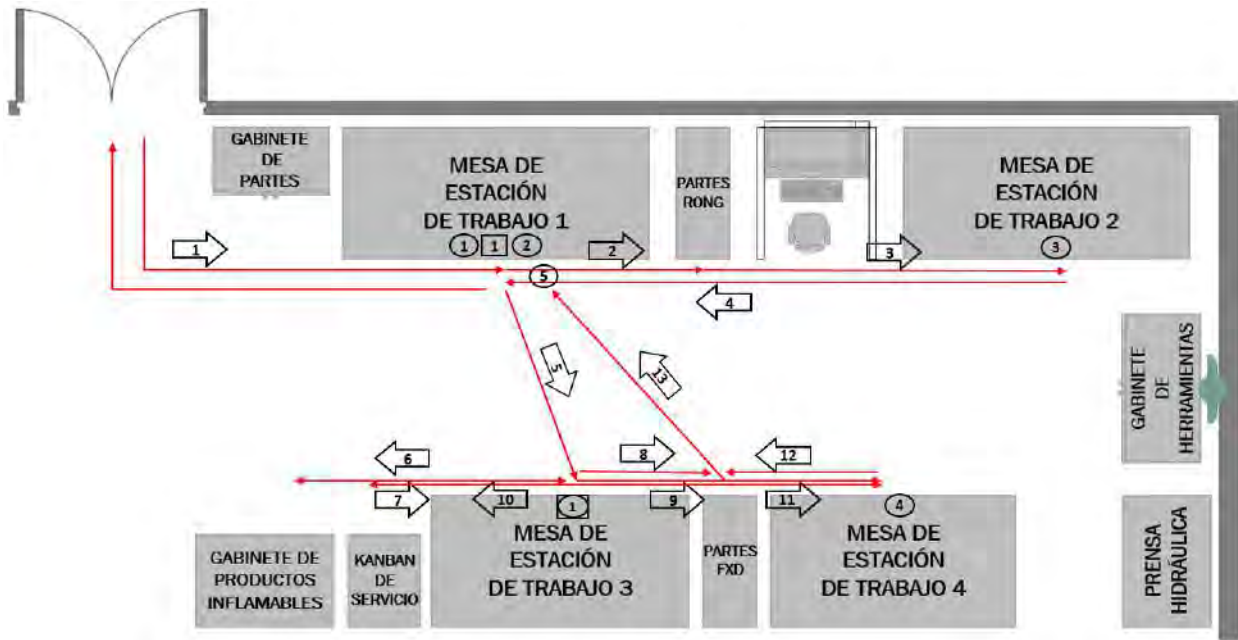


Figura 54. Área de *RSS* rediseñada
Fuente: Elaboración propia



Figura 55. Fotografía de *RSS* rediseñada
Fuente: Fotografía propia

Mejoras con el nuevo diseño:

- Reducción de movimiento innecesario al separar estante de equipos RONG y FXD
- Eliminación de rack de equipos inusable por no tener cálculo estructural
- Introducción de gabinete de productos inflamables al área, para evitar traslado extra

c. *Measurement While Drilling Mechanic (MWD Mechanic)*

Para la realización del nuevo diseño del área de *MWD Mechanic*, se tomó en cuenta el diagrama de operaciones anteriormente realizado (figura 21)

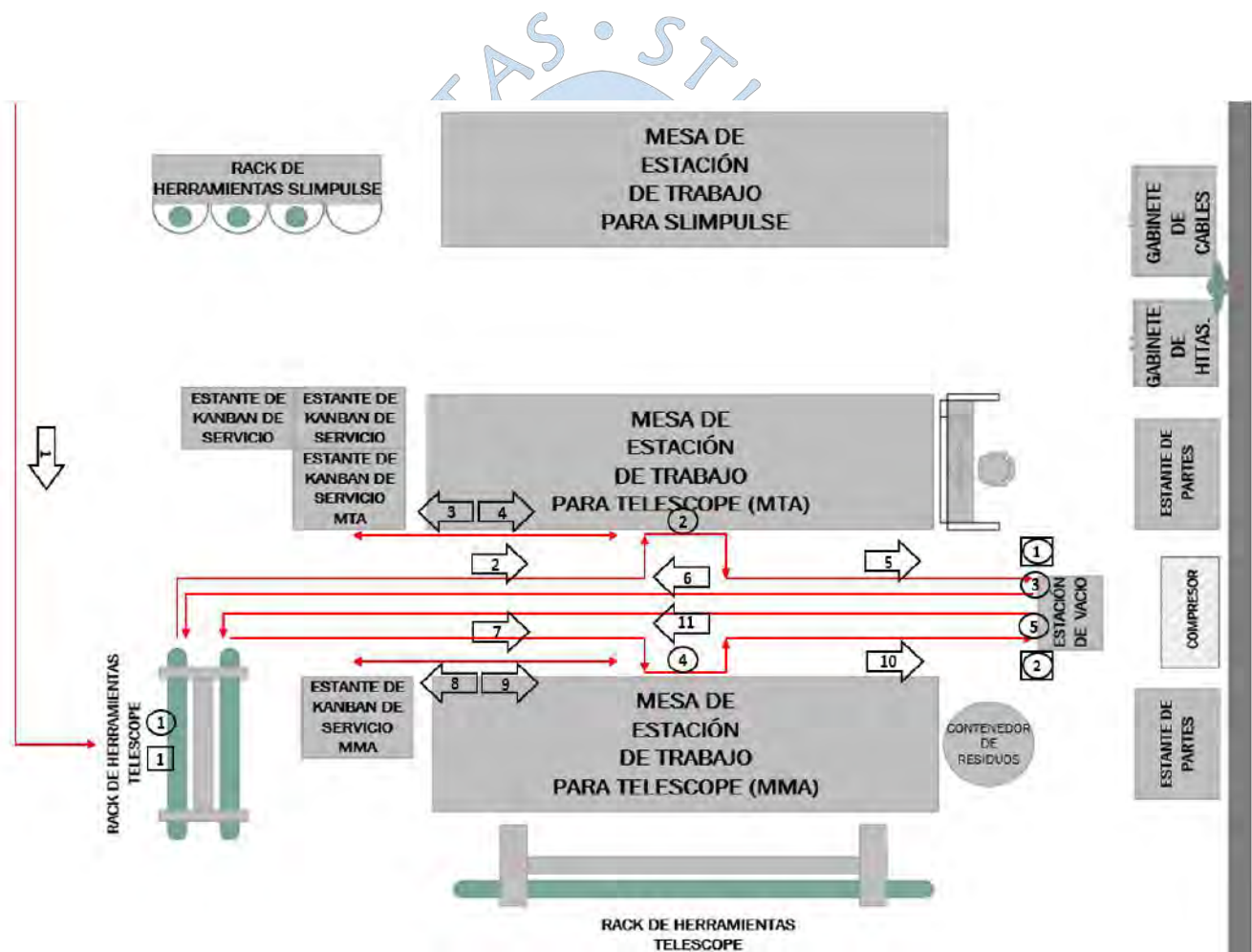


Figura 56. Área de MWD Mechanic rediseñada

Fuente: Elaboración propia



Figura 57. Fotografía de MWD Mechanic rediseñada
Fuente: Fotografía propia

Mejoras con el nuevo diseño:

- Reducción de movimiento innecesario, esto se logró separando los estantes de Kanban de servicio para MMA y MTA, de acuerdo con la dirección de su respectiva mesa de trabajo
- Flujo continuo y unidireccional implementado
- Espacio para libre tránsito

d. *Measurement While Drilling Electronic (MWD Electronic)*

Para la realización del nuevo diseño del área de *MWD Electronic*, se tomó en cuenta el diagrama de operaciones anteriormente realizado (figura 24).

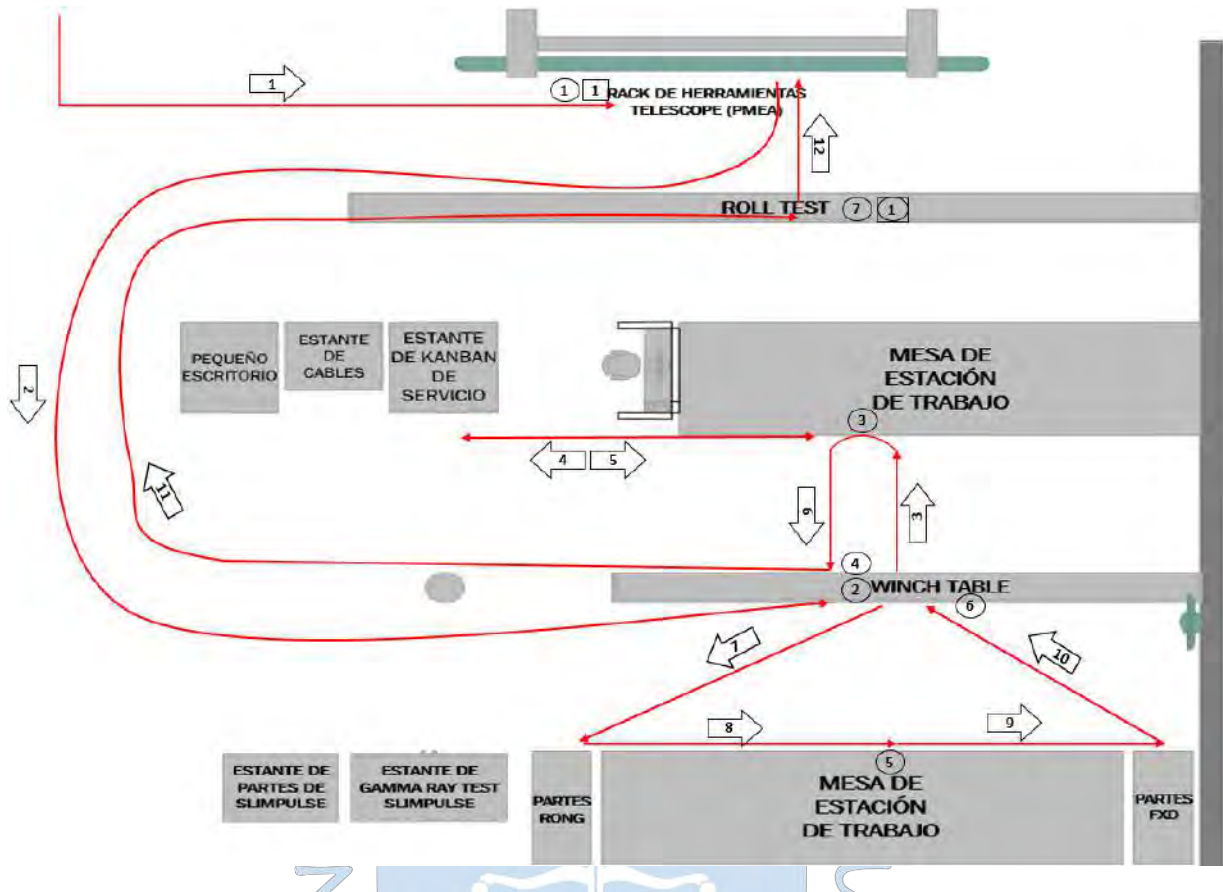


Figura 58. Área de MWD Electronic rediseñada
Fuente: Elaboración propia



Figura 59. Fotografía de MWD Electronic rediseñada
Fuente: Fotografía propia

En *MWD Electronic* el flujo no ha cambiado mucho debido a que el *Winch Table* y el *Roll Test* son estructuras fijas, sin embargo, se mejoró el flujo para la realización de mantenimiento de IWOBs, esto se logró al mover los estantes de partes RONG y FXD.

e. *Logging While Drilling (LWD)*

Para la realización del nuevo diseño del área de *LWD*, se tomó en cuenta el diagrama de operaciones anteriormente realizado (figura 27).

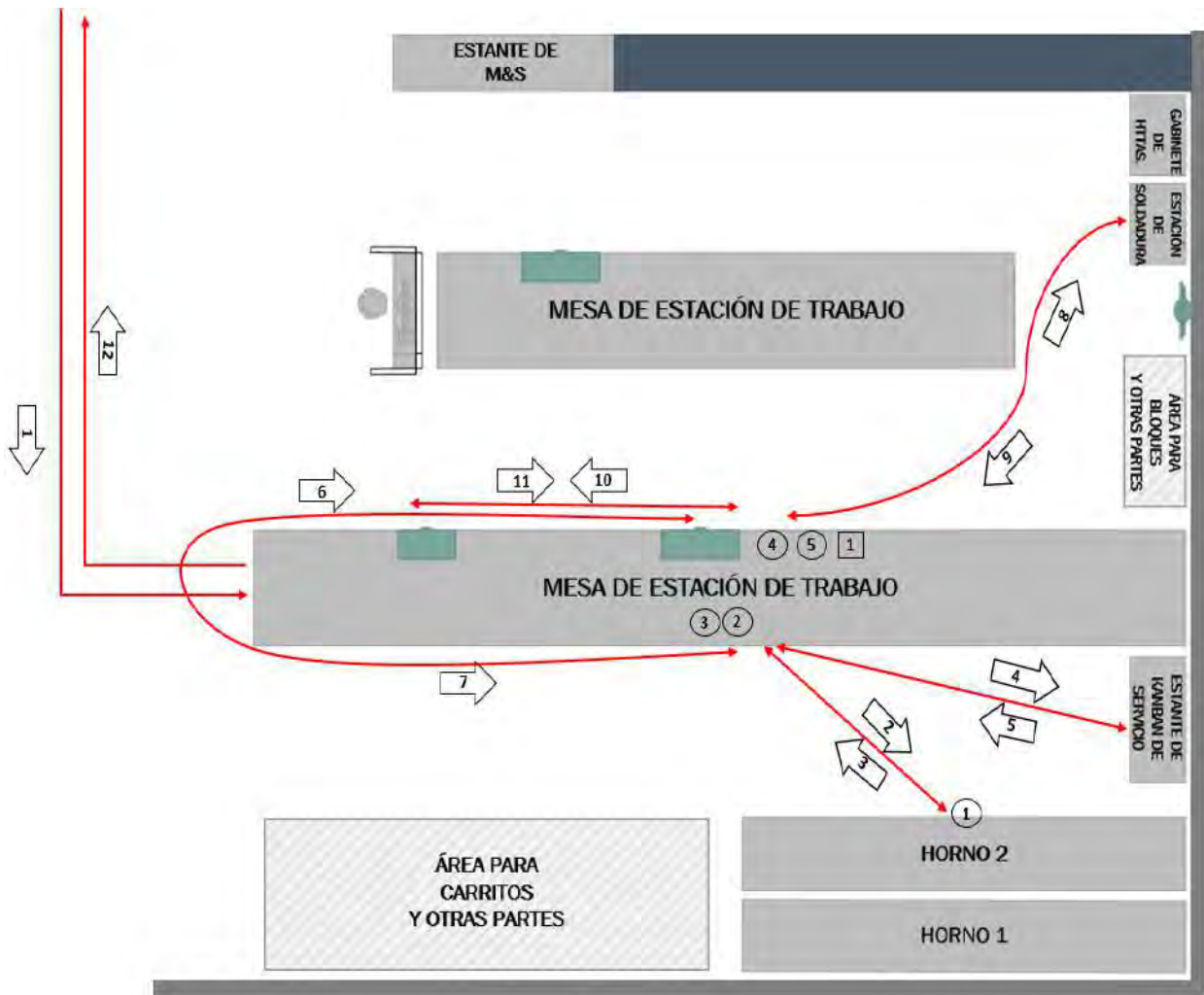


Figura 60. Área de LWD rediseñada

Fuente: Elaboración propia



Figura 62. Movimiento de estación de soldadura en LWD

Fuente: Fotografía propia



Figura 61. Movimiento de multímetros y special tools en LWD

Fuente: Fotografía propia

Mejoras con el nuevo diseño:

- Reducción de movimiento desde la mesa de trabajo hasta la estación de soldadura
- Reducción de movimiento innecesario para la búsqueda de multímetro y *special tools* empleados en el mantenimiento
- Mejora del flujo de trabajo



Figura 65. Fotografía con vista general del Taller rediseñado

Fuente: Fotografía propia



Figura 64. Fotografía con vistas laterales del Taller rediseñado

Fuente: Fotografía propia

Mejoras con el nuevo diseño:

- Todos los riesgos de SST se eliminaron por completo al reubicar el área de *Bearing Section*
- Reducción del movimiento y desperdicios de espera al mejorar el diseño
- Reducción del tiempo de ensamble del motor
- Espacios mejor aprovechados

3.4.2. 5S en el área de trabajo.

El objetivo de aplicar 5S en cada área de D&M, es crear un ambiente de trabajo que siempre esté ordenado, limpio y en condiciones de tour preparado ante la visita de algún cliente o ejecutivo.

Además, un beneficio personal es el impacto positivo en la moral y el orgullo de los trabajadores que se deriva de un lugar de trabajo limpio, ordenado y eficiente. A todos les gusta trabajar en un entorno 5S.

Es así como en el laboratorio y taller de D&M, para cada área y con la ayuda de todos los trabajadores fue posible aplicar esta filosofía y sostenerla a través del tiempo. La frase empleada es “Un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar”. Prueba de ello las fotografías que se mostrarán a continuación por cada S:

- *Sort.*

Se explicó al equipo el objetivo de este punto: clasificar el lugar de trabajo. Una buena manera de decidir donde almacenar las cosas es determinar con qué frecuencia se usa cada artículo.

Entonces, si hay artículos que no se usan, se deben regalar, vender o tirar. A veces, se da un valor especial a las cosas que se decide poner en los gabinetes del lugar de trabajo para su uso futuro, pero finalmente no se usan.



Figura 66. Evidencia de falta de clasificación de cajoneras

Fuente: Fotografía propia



Figura 67. Evidencia de falta de clasificación de tubulares en racks
Fuente: Fotografía propia



Figura 68. Compromiso del personal para clasificar y desechar lo innecesario
Fuente: Fotografías propias

- *Set in order*

Como siguiente paso se indicó al equipo de trabajo la siguiente S, la cual indica poner todo en orden, organizar o enderezar. Así los objetos, herramientas, materiales y suministros, utilizados en el mantenimiento deben estar al alcance y en lugares visibles y lógicos; para ello se delimitaron y se etiquetaron los objetos.

Se estableció la regla que no debe tomar más de 60 segundos localizar cualquier cosa utilizada dentro del proceso. Además, la organización del lugar debe ser visual y ordenada.

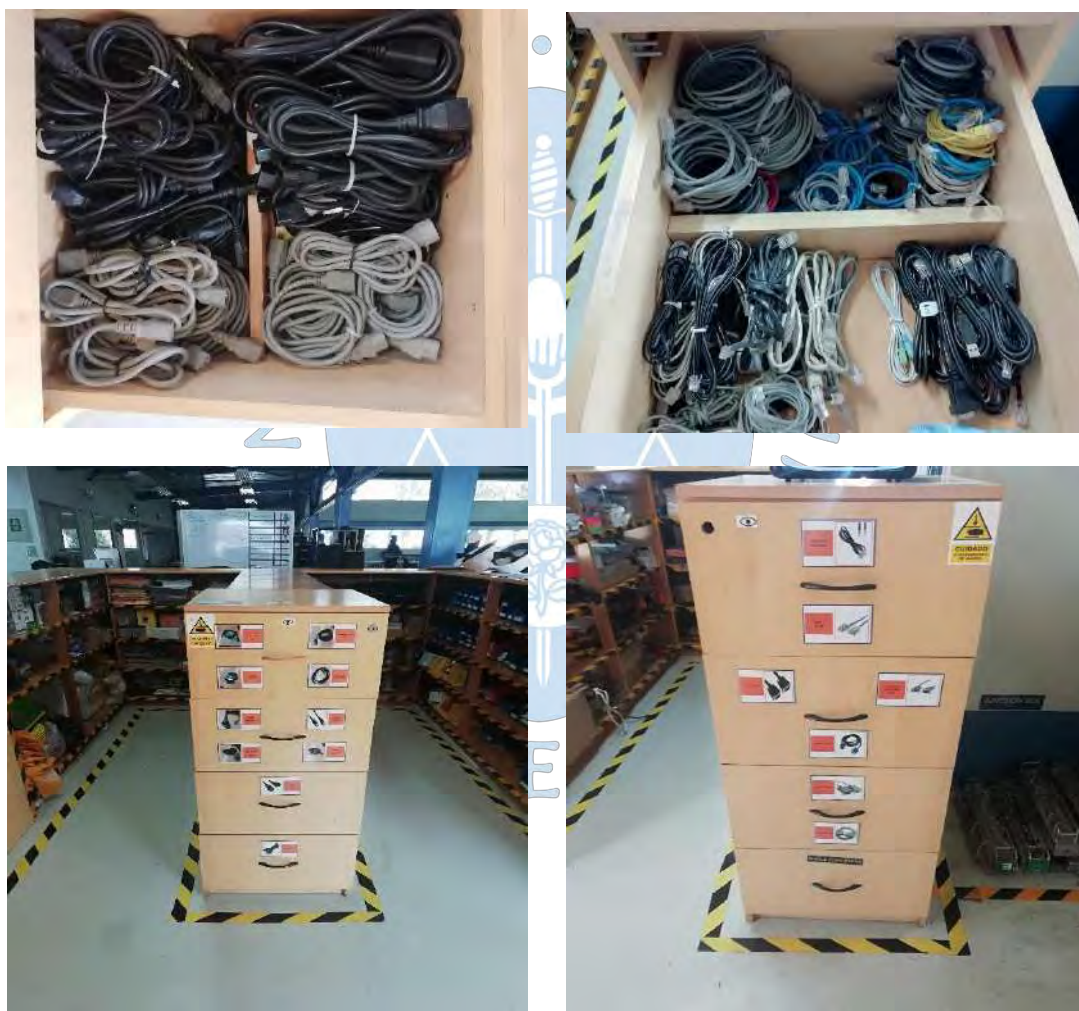


Figura 69. Organización, orden, etiquetado y delimitación de cajoneras de cables
Fuente: Fotografías propias



Figura 70. Organización, orden y etiquetado de tubulares en rack
Fuente: Fotografías propias



Figura 71. Organización y orden de gabinetes
Fuente: Fotografías propias

- *Shine*

Con esta S se vuelve más fácil realizar una inspección exhaustiva del proceso. Las fallas son más fáciles de encontrar en un lugar de trabajo limpio. Por ejemplo, si un área de trabajo está sucia o grasienta, puede ser difícil determinar si hay una fuga de aceite en el equipo.

La limpieza también es un reflejo directo de la organización a los ojos de los clientes, ejecutivos y otros.



Figura 72. Antes y Después. Limpieza en escritorio
Fuente: Fotografía propia

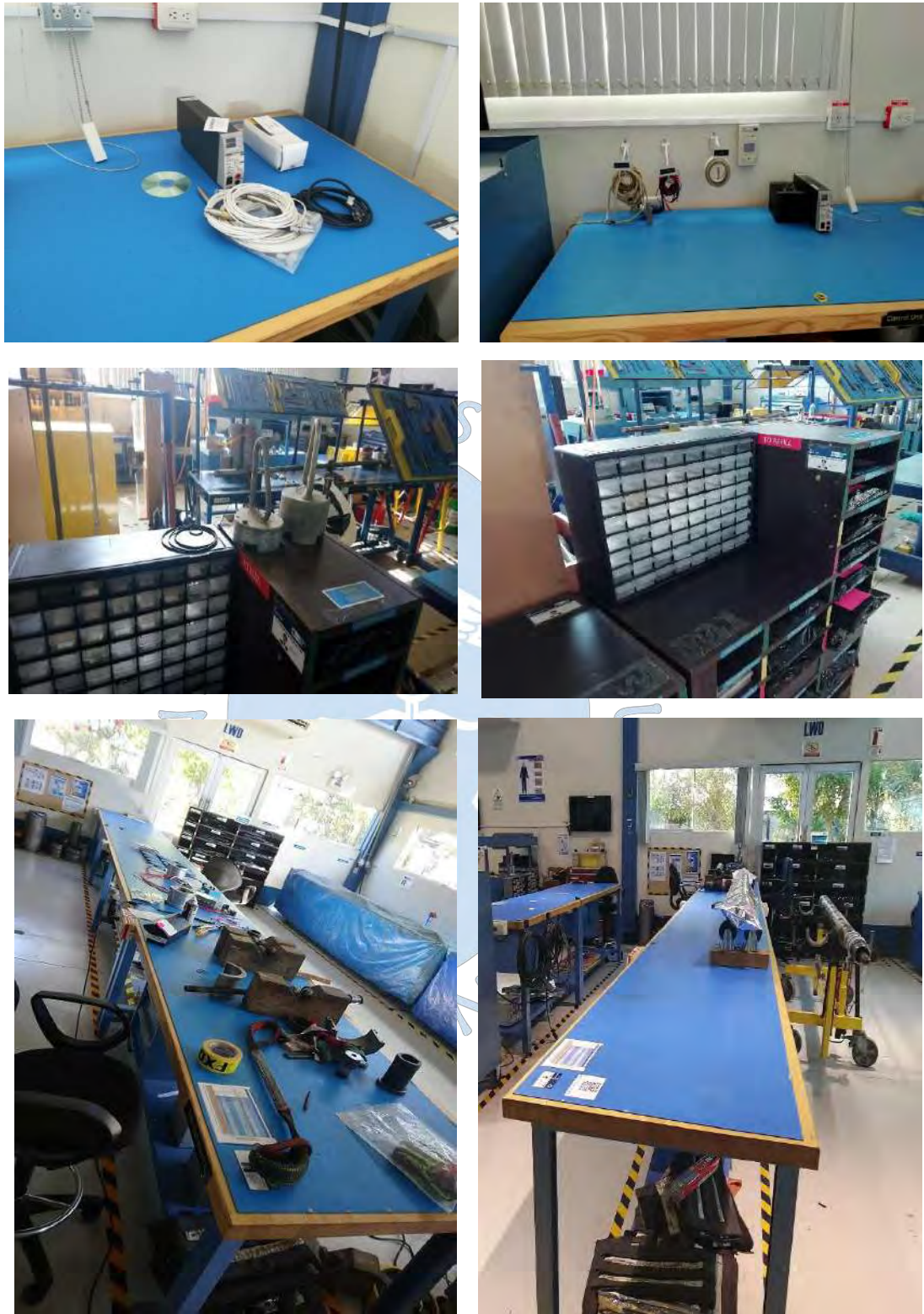


Figura 73. Antes y Después. Limpieza en mesas de trabajo
Fuente: Fotografía propia



Figura 74. Limpieza del taller de D&M

Fuente: Fotografía propia

- *Standardize*

Aquí es donde usamos el trabajo estandarizado para establecer procedimientos para las primeras tres S. Los estándares ayudarán en la siguiente fase, se mantendrán y servirán como referencia para que el equipo internalice los resultados 5S. Por tal motivo se creó un checklist para todas las áreas y de revisión semanal, con participación de todos los trabajadores.



Figura 75. Ejemplo de checklist para el área MWD Electronic

Fuente: Elaboración propia

- *Sustain*

La S final para aplicar es sostener, nos ayuda a garantizar que las mejoras que realizamos se internalicen y que cualquier acción nueva se convierta en un hábito. Para ello, el equipo de trabajo realizará auditorías de las distintas áreas asegurando que la disciplina se mantenga en su lugar.

Más adelante, en la etapa de control se mostrará a detalle, la forma en la cual se realizan las auditorías 5S, el formato y la forma de verificar que el personal realice la auditoría.

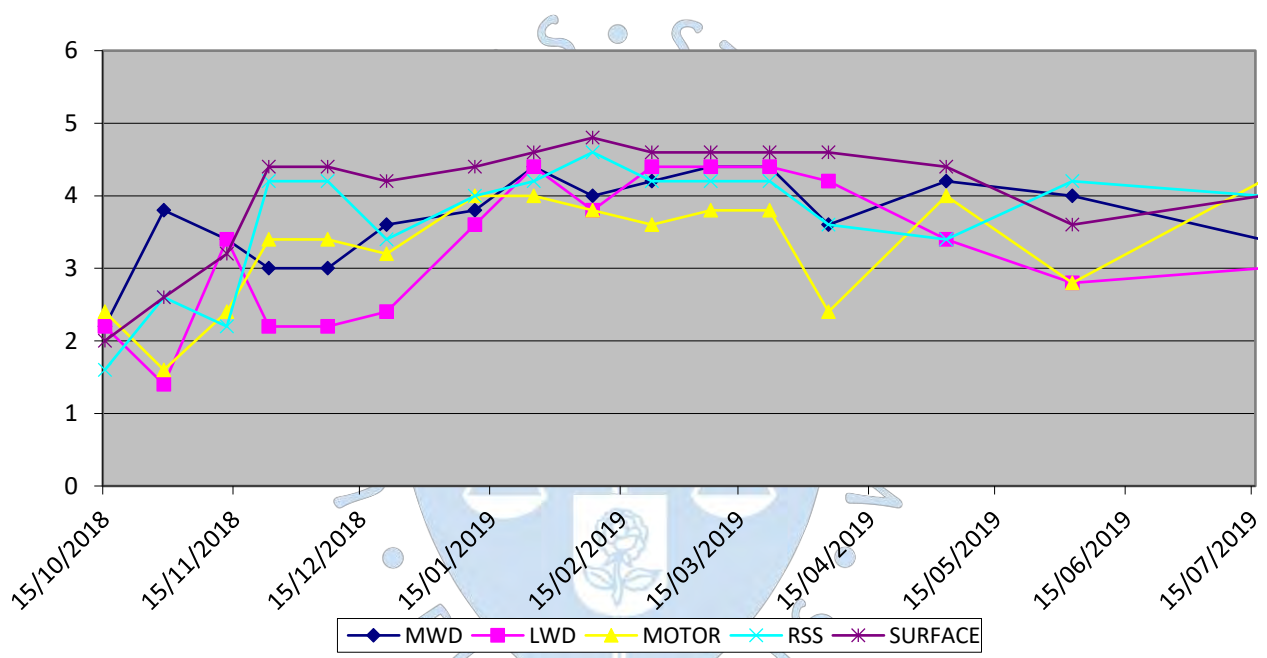


Figura 76. Resultados y evolución de 5S en las áreas

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Eventos *Kayzen*

Se implementaron diferentes mejoras para abordar los otros problemas identificados en las 3 primeras etapas de DMAIC.

- Solución referente al problema de falta de herramientas de mano

Al observarse que en las distintas áreas faltaban muchas herramientas de mano para realizar el mantenimiento, se tomó la decisión de entrevistar a cada trabajador y crear una lista en Excel de lo que les faltaba.

Posterior a eso, se ingresó la orden de compra en la plataforma de la empresa, de forma mensual y con un límite de \$300/mes.

Tabla 3. Herramientas de mano faltantes por área

Área	Cantidad	Descripción
RSS	01	Juego de alicates pequeños 10"
	02	Caja de Perilleros
LWD	01	Dado de impacto
	02	Martillo de goma
	01	Llave mixta Ratchet
	01	Llave Allen T 9/64"
PPK	01	Palanca de fuerza 1/2"
	01	Llave de Cadena C-36
	01	Cadena para llave C-36
	01	Martillo de fierro
	01	Juego de Botadores redondos
MWD	02	Llave Allen T 3/32"
	03	Llave Allen T 5/32"
	02	Llave Allen T 3/16"
	02	Llave Allen T 1/8"
	02	Palanca de fuerza 1/2"
Surface	01	Brocha 1"
	01	Brocha 1 1/2"
	02	Alicate de corte
	01	Alicate de punta
	01	Llave francesa
	01	Juego de alicates pequeños
	01	Caja de Perilleros

Fuente: Elaboración propia

Artículo	N° de pieza del proveedor	Destino final	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario	Precio neto	Fecha Prometida del Proveedor	Tipo de envío
	Descripción	(Código ISO de país)			PEN	PEN		
1	NA	PE	2	each	S/205.00	S/410.00	03 Feb 2019	Standard
	Juego de alicates pequeños							
2	NA	PE	3	each	S/90.00	S/270.00	03 Feb 2019	Standard
	Caja de Perilleros							
3	NA	PE	1	each	S/3.50	S/3.50	03 Feb 2019	Standard
	Brocha 1"							
4	NA	PE	1	each	S/4.00	S/4.00	03 Feb 2019	Standard
	Brocha 1 1/2"							
5	NA	PE	2	each	S/35.00	S/70.00	03 Feb 2019	Standard
	Alicate de corte							
6	NA	PE	1	each	S/35.00	S/35.00	03 Feb 2019	Standard
	Alicate de punta							
7	NA	PE	1	each	S/38.00	S/38.00	03 Feb 2019	Standard
	Llave francesa							
Importe Total (PEN)						S/830.50		

Artículo	N° de pieza del proveedor	Destino final	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario	Precio neto	Fecha Prometida del Proveedor	Tipo de envío
	Descripción	(Código ISO de país)			PEN	PEN		
1	NULL	PE	1	each	S/415.00	S/415.00	24 Jun 2019	Standard
	DADO IMPACTO ENC. 1" CON SOCKET 1-1/4" 12 PUNTAS							
	Instrucciones especiales: Originator: Josymar Dassaev Sirlupu Zapata							
2	NULL	PE	1	each	S/79.00	S/79.00	24 Jun 2019	Standard
	LLAVE MIXTA RATCHET 7/8" SATA							
	Instrucciones especiales: Originator: Josymar Dassaev Sirlupu Zapata							
3	NULL	PE	1	each	S/350.00	S/350.00	24 Jun 2019	Standard
	MARTILLO DE GOLPE SECO 12LBS 1436DB							
	Instrucciones especiales: Originator: Josymar Dassaev Sirlupu Zapata							
Importe Total (PEN)						S/844.00		

Figura 77. Órdenes de compra de herramientas de mano
Fuente: Plataforma interna de Schlumberger

Artículo	N° de pieza del proveedor	Destino final (Código ISO de país)	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario PEN	Precio neto PEN	Fecha Prometida del Proveedor	Tipo de envío
1	EA	PE	1	each	S/55.00	S/55.00	25 Feb 2019	Standard
Martillo de hierro 32 oz/ empunadura fibra vidrio. Blue point								
2	EA	PE	1	each	S/85.00	S/85.00	25 Feb 2019	Standard
Juego de Botadores redondos								
3	EA	PE	2	each	S/18.00	S/36.00	25 Feb 2019	Standard
Llave Allen T 3/32"								
4	EA	PE	3	each	S/18.00	S/54.00	25 Feb 2019	Standard
Llave Allen T 5/32"								
5	EA	PE	2	each	S/21.00	S/42.00	25 Feb 2019	Standard
Llave Allen T 3/16"								
6	EA	PE	2	each	S/18.00	S/36.00	25 Feb 2019	Standard
Llave Allen T 1/8"								
7	NA	PE	3	each	S/135.00	S/405.00	25 Feb 2019	Standard
Palanca de fuerza 1/2" x 18" Marca PROTO 5468								
8	EA	PE	1	each	S/25.00	S/25.00	25 Feb 2019	Standard
Llave Allen T 9/64"								
9	EA	PE	1	each	S/130.00	S/130.00	25 Feb 2019	Standard
Alicate de presión de cadena 10 "								
Importe Total (PEN)						S/868.00		

Item	Vendor part number	Final destination (Country ISO Code)	Quantity	UOM	Unit price USD	Net price USD	Supplier promise date	Ship mode
1	GR1XDY7	PE	1	each	\$280.00	\$280.00	19 Jul 2019	Standard
Llave de cadena para servicio pesado. Marca: RIDGID, Modelo: C-36								
2	GR25XA10	PE	1	each	\$170.00	\$170.00	19 Jul 2019	Standard
Cadena para llave de cadena. Marca: RIDGID, Modelo: C-36.Observacion: Solo la cadena								
Total value (USD)						\$450.00		

Figura 78. Órdenes de compra de herramientas de mano
Fuente: Plataforma interna de Schlumberger

- Solución referente al problema de tener la Karcher ocupada

Compra e instalación de otra Hidro lavadora Karcher en la zona de lavado, así se evita tiempo esperando a que se desocupe una.

Artículo	N° de pieza del proveedor	Destino final	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario	Precio neto	Fecha Prometida del Proveedor	Tipo de envío
	Descripción	(Código ISO de país)			USD	USD		
1	1.286-907.0	PE	1	each	\$3,290.70	\$3,290.70	26 Apr 2019	Standard
Karcher 10/24S 1.286-907.0								
2	6.391-421.0	PE	1	each	\$1,195.00	\$1,195.00	26 Apr 2019	Standard
Manguera Retraclil 20 m - 6.391-421.0								
Importe Total (USD)						\$4,485.70		

Artículo	N° de pieza del proveedor	Destino final	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario	Precio neto	Fecha Prometida del Proveedor	Tipo de envío
	Descripción	(Código ISO de país)			USD	USD		
1	NA	PE	1	each	\$400.00	\$400.00	16 Aug 2019	Standard
Instalacion de contactor electrico para Karcher en taller area de lavado .								
Instrucciones especiales: contacto de GR Juan Carlo Simbala Sosa [JSosa5@exchange.slb.com].								
2	NA	PE	1	each	\$150.00	\$150.00	16 Aug 2019	Standard
Enchufe electrico para Karcher.								
Instrucciones especiales: contacto de GR Juan Carlo Simbala Sosa [JSosa5@exchange.slb.com].								
Importe Total (USD)						\$550.00		

Figura 79. Orden de compra de Karcher para zona de lavado
Fuente: Plataforma interna de Schlumberger

- Solución referente al problema de tener la BOM y el puente grúa ocupados

En D&M hay reuniones diarias de operaciones, a las 8 a.m., empezando el día laboral, aquí se abordan temas referentes a las actividades del día, HSE, entre otros.

Todos tienen en claro que en taller solo hay una BOM y un puente grúa, es así como la forma de abordar este problema fue en la reunión diaria, mediante designación por parte del supervisor de mantenimiento donde indicaba quien utilizaría primero la BOM y puente grúa y en que horario, así se programaban los demás técnicos para realizar otras actividades hasta que se desocupe.

Esto en caso existan conflictos de uso de la BOM.

- Solución referente al problema de falta de disponibilidad de operador de montacargas

Dos eran los técnicos de D&M que contaban con certificación para manejo de montacargas y que además de realizar sus labores propias de mantenimiento, tenían que manejar estas unidades para mover tubulares u otras cargas. Sin embargo, realizar esta actividad les consumía mucho tiempo, el cual podían emplearlo para el mantenimiento de las diversas herramientas.

Adicional a ello, para todo tipo de movimiento la figura de rigger o señalero debía estar presente, siendo entonces dos las personas que debían detener sus actividades para enfocarse en hacer eso.

En consecuencia, al estar ellos ocupados la mayoría de las veces, conllevaba un gran tiempo de espera para descargar tubulares del camión y moverlos al taller o viceversa.

Como solución, no solo para el segmento de D&M, sino para otros segmentos, se tercerizó el servicio de operador de montacargas y rigger a la empresa Transber S.A.C. Este costo se dividía entre los segmentos que lo utilizaban, correspondiéndole a D&M el 47% de pago, según comentó la jefa de base.

Tabla 4. Costo de tercerización de Operador de montacargas y Rigger

Mes	Servicio	Costo	Costo para D&M
Junio	Operador de Montacargas Talara Junio	\$ 1,351.90	\$ 635.39
	Rigger Talara Junio	\$ 996.10	\$ 468.17
Julio	Operador de Montacargas Talara Julio	\$ 1,507.18	\$ 708.37
	Rigger Talara Julio	\$ 1,103.47	\$ 518.63
Agosto	Operador de Montacargas Talara Agosto	\$ 1,552.51	\$ 729.68
	Rigger Talara Agosto	\$ 1,067.25	\$ 501.61

Fuente: Entrevista a Jefa de Base

3.4.4. Poka Yoke

La técnica *Poka Yoke* se utilizó para eliminar la posibilidad de ocurrencia de defectos causados por errores humanos.

Si bien es cierto se atacó el problema de falta de herramientas de mano al realizar la compra, también se debía ver la forma de almacenarlas, sin que la persona que realice el mantenimiento demore mucho en encontrarlas.

Es así como se empezó a emplear *Shadow boards* encima de las mesas de trabajo, en los estantes o en los carritos de configuración. Esta técnica se utilizó en el pasado, sin embargo, no se actualizó con el transcurrir del tiempo.



Figura 80. Antes y después de implementar Poka Yoke con shadowboards para los estantes y carritos de configuración

Fuente: Elaboración propia



Figura 81. Antes y después de implementar Poka Yoke con shadow boards para las mesas de trabajo
Fuente: Elaboración propia

3.5. Control

Como se ha documentado, las mejoras gracias a la aplicación de Lean se alcanzaron, sin embargo, se torna muy necesario diseñar un sistema que mantenga estables estas mejoras de manera permanente. Esto implica la participación de todo el personal involucrado en el proceso, hasta lograr la adaptabilidad por parte de todos.

3.5.1. Auditorías 5S

Después de aplicar 5S en el área de trabajo, resulta primordial realizar auditorías para sostener estas mejoras y verificar que se esté cumpliendo cada punto. Por tal motivo, se creó una hoja de Excel donde se evalúan 5 preguntas para cada S y en la cual el técnico auditor deberá responder SÍ o NO.

Al terminar de completar la hoja de Excel, arrojará un resultado y una gráfica que nos permite ver fácilmente donde puede haber vacíos en nuestro despliegue y aquellos que necesitan esfuerzo.

El responsable debe cargar la auditoría con el puntaje a una plataforma llamada *Quest*, como prueba del registro y cumplimiento, asimismo deben comentar las observaciones y de ser posible, enviar fotos de lo que se debe mejorar para corregirlos con un plan de acción.

Estas auditorías de 5S se deben realizar de manera periódica cada dos semanas, en este sentido se creó un cronograma para ver a que técnico le corresponde cada área.

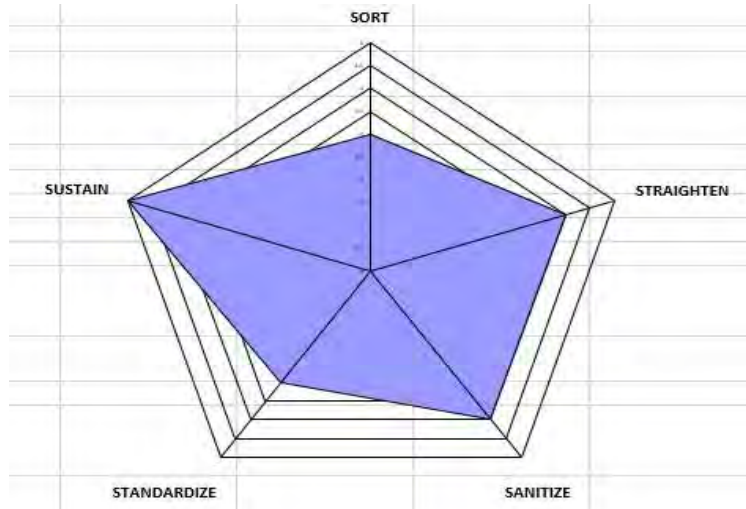
5 S AUDIT SCHEDULE 2019	Week #	Deadline	Area				
			SURFACE	MWD	LWD	MOTORS	RSS
	28	12-Jul-19	Esau Gallego	Jose Farronan /Kenjo Lopez	Miguel Valladolid/Juan Carlo Simbala	Fernando Burneo / Rodolfo Gonzalez	Karina Negron / Josymar Sirlupu
30	26-Jul-19	Jorge Luis Leon / Miguel Valladolid	Esau Gallego	Karina Negron	Josymar Sirlupu	Juan Carlo Simbala	
32	9-Aug-19	Juan Carlo Simbala	Josymar Sirlupu	Jorge Luis Leon	Jose Farronan/ Kenjo Lopez	Miguel Coronado	
34	23-Aug-19	Miguel Coronado	Karina Negron / Esau Gallego	Miguel Valladolid / Jorge Luis Leon	Juan Carlo Simbala / Kenjo Lopez	Jorge Luis Leon	
36	6-Sep-19	Jorge Luis Leon	Josymar Sirlupu	Karina Negron	Kenjo Lopez	Esau Gallego/ Juan C Simbala	
38	20-Sep-19	Miguel Coronado	Jose Farronan	Miguel Valladolid	Josymar Sirlupu	Karina Negron	

Figura 82. Cronograma de cumplimiento de auditoría 5S

Fuente: Elaboración propia

Schlumberger			
Location:	Talara	Auditor and Area	Jose Farronan - MWD
Date:	12-Jul-19		
PEC 5S Workplace Evaluation Sheet			
SORT ORDEN	<i>Distinguir entre lo que es necesario y lo que no lo es. (move it out)</i>		
	Criterio desarrollado para determinar que es necesario?		YES
	Elementos o equipo no necesario está identificado, etiquetado, registrado y movido a un área temporal de almacenamiento?		NO
	Solo equipo o elementos necesarios como herramientas, muebles, documentos, archivos, inventarios, suministros o materiales en esta área?		YES
	El área esta libre de acumulación de elementos o equipos innecesarios?. Corredores, esquinas están libres de obstrucciones, excesos o de items no usados?		YES
	Elementos o equipos fueron movidos fuera del área temporal de almacenamiento?		NO
		SORT SCORE	3
STRAIGHTEN ALIENAR	<i>Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar Celdas de trabajo configuradas para el beneficio del empleando y aracas con respaldo.</i>		
	La Organización de todas las áreas de trabajo han sido definidas y desarrolladas. La localización de los elementos necesarios han sido desarrollados, etiquetados, delimitados, alineados, codificados en colores y listas de contenidos esta siendo propiamente utilizados?		YES
	Archivos o herramientas comunes para el grupo son de facil ubicación? Usadas y retornadas a su correcta ubicación?, estos son centralizados cuando es posible?		YES
	Es evidente cuando los elementos no están en el lugar correcto?		YES
	Los siguientes 3 Criterios son usados?. Elementos usados diariamente 80% están almacenados al alcance de la mano?, la regla de 45 grados esta aplicada pertinentemente?, los elementos a usar típicamente están en la zona de trabajo?		YES
	El número de elementos duplicados y lugares de almacenamiento han sido reducidos a uno cuando es posible. Límite de dimensiones y cantidades ha sido observado?		NO
		STRAIGHTEN SCORE	4
SANITIZE LIMPIAR	<i>Acciones visuales y físicas de limpieza desarrolladas para mantener el área de trabajo y prevenir lo antiguos hábitos recurrentes.</i>		
	Todos los gabinetes, libros, escritorios, bibliotecas, bancos de trabajo, archivadores, catálogos están etiquetados?		NO
	Marcas de localización de elementos y alineamientos están establecidos?		YES
	Existen lineamientos o guías visuales y físicas de saneamiento frecuente? Quién es responsable, Cuándo reviso y dónde		YES
	Los elementos están ordenados y seguros en sus lugares designados?		YES
	Todos los otros problemas de limpieza han sido direccionados? como pasillos, áreas de almacenamiento, bancos de trabajo, escritorios, archivadores y bibliotecas		YES
		SANITIZE SCORE	4
STANDARDIZE ESTANDARIZAR	<i>Establecer guías estándares que cada uno siga, monitoree y mantega, las condiciones de: orden, alineamiento, y limpieza.</i>		
	Existen guías estándares para las condiciones de orden, simplificación y aseo.		YES
	Guías estándares están visibles y publicadas.		YES
	Cada uno entiende sus responsabilidades para con 5S, Qué, Cuándo, Dónde y con qué frecuencia debe monitorear y mantener estos estándares?		YES
	Tablero de 5S figura el mapa de area de trabajo, fotos y diagrama de direcciones es utilizado?		
	Solo elementos necesitados estan donde pertenecen, facil de localizar y fácil de remplazar existe un estandard para mantener y limpiar?		NO
		STANDARDIZE SCORE	3
SUSTAIN MANTENER	<i>Todas las áreas y cada uno participa en las iniciativas de 5S's</i>		
	Un plan de disciplina personal existe que incluya un entrenamiento periódico de 5S's, gerenciamiento en la participación, comunicación de cómo vamos en 5S's y un todos los empleados están envueltos.		YES
	Actividades de 5S's hacen parte del trabajo diario de cada uno en sus rutinas semanales		YES
	La última semana, inspecciones de 5S's han sido ejecutadas de acuerdo a las guías estándares para cada área?.		YES
	Todo el trabajo y elementos personales están almacenados en su correcto y designado lugar?		YES
	Carteleras de 5S están actualizadas		YES
		SUSTAIN SCORE	5
		TOTAL 5S FOR ALL LEVELS	3.8

Figura 83. Hoja Excel de auditoría 5S realizada al área MWD
Fuente: Elaboración propia



Report Date: Jan 11, 2019 (UTC)		Report Number: 2019011202737	
Created By: Farronan Flores Jose Roberto		Status: OPEN	
Updated On: Jan 11, 2019 (UTC) by Farronan Flores Jose Roberto		Remedial Actions	
GeoMarket: Latin America North		0- Pending	
Location: D&M-TLM Talara		0- Closed	
Lead Auditor: Jose Farronan	Scheduled Date: Jan 11, 2019		
Category: Audit-Other	Audit/Inspection Type: Self Assessment		
CRM Client: No Client Involved	ASL Supplier: No Supplier		
CRM Rig Name: No Rig Involved			
Summary			
Weekly_5S_Audit Week_2 MWD			
Comments			
Score : 3.8			
Observaciones: Etiquetar cajones. Realizar housekeeping Segregar equipos/herramientas no usadas			
--- Created By Farronan Flores Jose Roberto 1/11/2019 9:27:37 PM ---			
Attachments			
Description	File Name	File Size	Upload Date
5S MWD	Weekly_5S_Audit_Week_2_MWD.xlsx	60,737	Jan 11, 2019
			Farronan Flores Jose Roberto

Figura 85. Ejemplo de Reporte de Auditoría 5S para el área de MWD en plataforma Quest
Fuente: Plataforma de Schlumberger

La figura 85 muestra como el técnico sube a la plataforma *Quest* el reporte de auditoría 5S de la semana 02. Como comentarios coloca el puntaje que arrojó el Excel, las observaciones para corregir y mejorar en el área de MWD. Asimismo, se puede observar que adjuntó el Excel de la auditoría 5S.

20190213222612	OPEN	VIEW	5 S audit -MWD - workplace evaluation-12 FEB	LAN	Peru	TLMDMTal	Miguel Valladolid	Feb 12, 2019
20190213222603	OPEN	VIEW	5 S audit -MWD - workplace evaluation-12 FEB	LAN	Peru	TLMDMTal	Miguel Valladolid	Feb 12, 2019
20190213200447	OPEN	VIEW	Weekly_5S_Audit_Week_06_MOTORES	LAN	Peru	TLMDMTal	Jose Farronan	Feb 12, 2019
20190213002808	CLOSED	VIEW	Self Audit - Lifting Checklist Usage - DBM	LAN	Peru	TLMDMTal	Karina Negron	Feb 12, 2019
20190211135009	CLOSED	VIEW	Weekly_5S_Audit_Week_06_RSS	LAN	Peru	TLMDMTal	Josymar Sirlupu	Feb 08, 2019
20190208212046	OPEN	VIEW	Weekly_5s_Audit_Week_06_LWD	LAN	Peru	TLMDMTal	JORGE LEON	Feb 08, 2019
20190206152055	OPEN	VIEW	Prueba de Integridad de Bandejas de D&M	LAN	Peru	TLMDMTal	Clarita Farias Vilchez	Feb 05, 2019
20190128170042	CLOSED	VIEW	Weekly 5S Audit-Week 04-RSS	LAN	Peru	TLMDMTal	Miguel Coronado	Jan 25, 2019
20190125231953	OPEN	VIEW	Audit 5s - Surface Area	LAN	Peru	TLMDMTal	Karina Negron	Jan 25, 2019
20190125210825	OPEN	VIEW	5 "S" Audit_MWD Lab	LAN	Peru	TLMDMTal	Jorge Leon	Jan 25, 2019
20190125165038	OPEN	VIEW	Weekly_5S_Audit_Week_04_MOTORES	LAN	Peru	TLMDMTal	Josymar Sirlupu	Jan 25, 2019
20190114233546	CLOSED	VIEW	Weekly 5S Audit-Week 02-PPK	LAN	Peru	TLMDMTal	Miguel Coronado	Jan 14, 2019
20190114215554	OPEN	VIEW	Weekly_5S_Audit_Week_02_LWD	LAN	Peru	TLMDMTal	Josymar Sirlupu	Jan 11, 2019
20190111202737	OPEN	VIEW	Weekly_5S_Audit_Week_2_MWD	LAN	Peru	TLMDMTal	Jose Farronan	Jan 11, 2019
20190111202121	OPEN	VIEW	Audit 5s - RSS Area	LAN	Peru	TLMDMTal	Karina Negron Iwasaki	Jan 11, 2019

Figura 86. Prueba de cumplimiento de auditorías 5S al reportarse en Quest por los técnicos
Fuente: Plataforma de Schlumberger

3.5.2. Gestión Visual.

Se empleó la gestión visual para que los empleados detecten rápidamente si un proceso está dentro o fuera de control. Esto facilita el desarrollo de ojos para flujo y desperdicio, y al igual que 5S, la gestión visual es la base y los primeros pasos para la mejora continua.

En tal motivo, se utilizaron monitores en cada área para proyectar la información referente a Lean, guías de 5S, resultados de las auditorías, el progreso, las cosas que se deben corregir y los KPIs de mantenimiento.

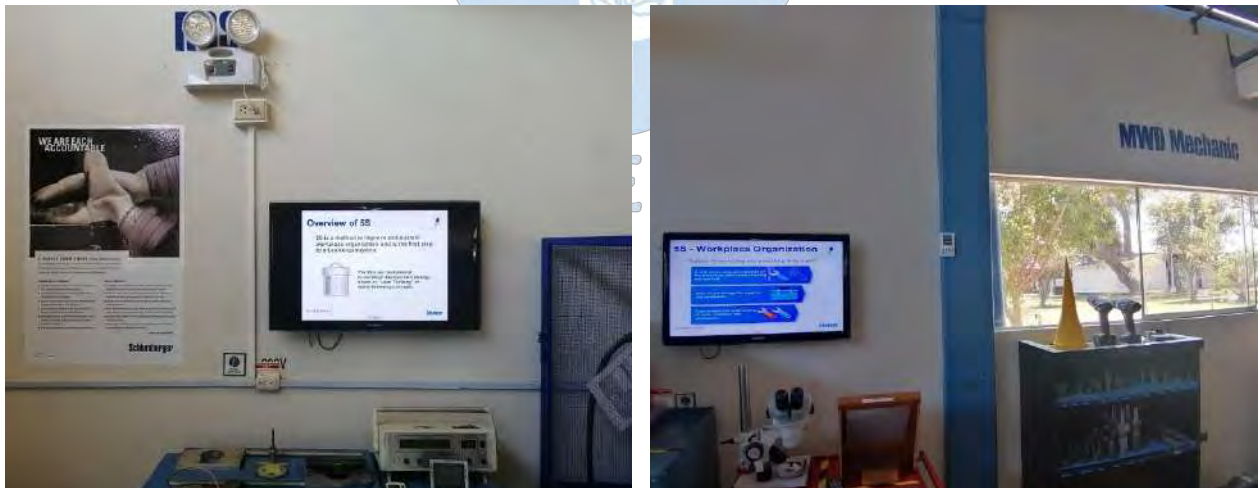


Figura 87. Gestión visual en áreas RSS y MWD Mechanic
Fuente: Fotografías propias

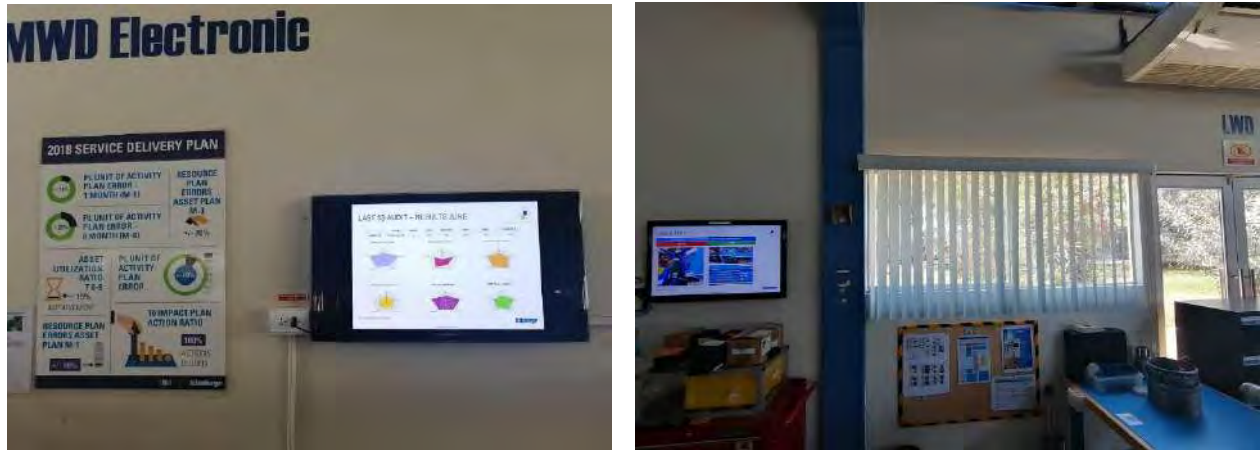


Figura 88. Gestión visual en áreas MWD Electronic y LWD

Fuente: Fotografías propias

En las áreas *Surface* y *Powerpak* (Taller), donde no había pantallas o monitores en los cuales se puedan proyectar la información, se decidió colocar las guías de 5S en un lugar visible y con papel enmascarado.

Referente a los resultados de las auditorías, el progreso, las cosas que se deben corregir y los KPIs de mantenimiento, también se enviaban por correo electrónico y se proyectaban en los dos monitores de oficina a la entrada del laboratorio.



Figura 89. Gestión visual en áreas Surface y Powerpak (Taller)

Fuente: Fotografías propias



Figura 90. Gestión visual en Oficinas
Fuente: Fotografías propias

Otro punto importante que se aplicó en gestión visual, es la designación de responsables de mantener el orden y la limpieza en cada lugar de trabajo, esto implicaba que los estantes, las mesas de trabajo, los carritos de herramientas, las máquinas, etc. tengan pegado un sticker con la foto y el nombre del responsable.

Así, si en la auditoría 5S se encontraba algo fuera de lugar, se debía colocar un reporte de acción por mejorar dirigido hacia el responsable del lugar.



Figura 91. Algunas fotografías de responsables en mesas de trabajo
Fuente: Fotografías propias



Figura 92. Algunas fotografías de responsables en estantes
Fuente: Fotografías propias



Capítulo 4

Cálculo del impacto financiero y medición de eficiencia actual

En este último capítulo se detallarán los aspectos financieros referentes a los ahorros monetarios logrados con la reducción de tiempos muertos y la generación de valor agregado a los procedimientos del equipo de mantenimiento de D&M.

La aplicación de herramientas Lean y DMAIC, también generó costos de inversión necesarios para la ejecución del proyecto. Por tal motivo, es necesario realizar un cálculo total, esto se logra mediante conceptos básicos de finanzas.

Con los rediseños, la innovación, las mejoras, la cultura 5S, etc. es inminente el aumento de eficiencia de las labores de mantenimiento para cada tecnología, por ello se realizará un cálculo para hallar la eficiencia actual.

4.1. Cálculo de ahorros

Aplicar Lean ha implicado ahorro de dinero, con ello se eliminaron aquellos desperdicios que no generaban valor agregado a la empresa y que hacían que el tiempo empleado por los técnicos para el mantenimiento de una herramienta, sea muy largo.

Como punto de partida se empezarán calculando los costos de inversión, por ejemplo, para realizar estas mejoras se empleó costo de mano de obra (rediseños, movimiento de cosas, creación de *shadow boards*), costo por compra de herramientas de mano, costo de tercerización, entre otros.

Entonces, se calculará el costo de inversión a partir de los problemas que fueron solucionados uno a uno en los eventos *Kayzen*, en los diseños Lean y en *Poka Yoke*. Finalmente, se estimarán los ahorros financieros proyectados a un año de aplicación.

4.1.1. Costos de inversión

- La solución a la falta de herramientas de mano, tal como se mencionó anteriormente con pruebas en la Figura 77 y Figura 78, fue comprar mensualmente lo faltante y tuvo el siguiente costo de inversión:

Tabla 5. Costo de Inversión en Herramientas de mano

Cantidad	Descripción	Precio total (S/)	Precio Total (\$)
2	Juego de alicates pequeños	410.00	124.24
3	Caja de perilleros	270.00	81.82
1	Brocha 1"	3.50	1.06
1	Brocha 1 1/2"	4.00	1.21
2	Alicate de corte	70.00	21.21
1	Alicate de punta	35.00	10.61
1	Llave francesa	38.00	11.52
1	Dado Impacto	415.00	125.76
1	Llave mixta	79.00	23.94
1	Martillo golpe seco	350.00	106.06
1	Martillo de hierro	55.00	16.67
1	Juego de botadores redondos	85.00	25.76
2	Llave Allen T 3/32"	36.00	10.91
3	Llave Allen T 5/32"	54.00	16.36
2	Llave Allen T 3/16"	42.00	12.73
2	Llave Allen T 1/8"	36.00	10.91
3	Palanca de fuerza	405.00	122.73
1	Llave Allen T 9/64"	25.00	7.58
1	Alicate de presión de cadena 10"	130.00	39.39
1	Llave de cadena C-36	924.00	280.00
1	Cadena para llave	561.00	170.00
COSTO TOTAL DE INVERSION EN HERRAMIENTAS DE MANO		S/4027.50	\$1,220.45

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 muestra un costo de inversión en herramientas de mano de **\$1,220.45**, estas herramientas faltaban en las distintas áreas y generaba que los técnicos en mantenimiento se desplacen buscando y prestando en las áreas donde si había.

La elaboración de *shadow boards* para encontrar estas herramientas de manera rápida, tuvo un costo de inversión por compra de tapetes *foami*:

Tabla 6. Costo de inversión en tapetes

Cantidad	Descripción	Precio total (S/)	Precio Total (\$)
12	Tapetes <i>Foami</i>	457.68	138.7

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra un costo de inversión en tapetes *foami* de \$138.7, estos sirvieron para la elaboración de shadow boards y para que los técnicos encuentren las herramientas de manera rápida

- La solución con respecto a la Karcher ocupada, como se mencionó anteriormente en la Figura 79, fue comprar una nueva y tuvo el siguiente costo de inversión:

Tabla 7. Costo de Inversión en Karcher

Cantidad	Descripción	Costo Total (\$)
1	Karcher y manguera retráctil	4,485.7
1	Servicio de Instalación de Karcher en Zona de Lavado	550.0
COSTO TOTAL DE INVERSION EN KARCHER		\$5,035.7

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 muestra un costo de inversión en una nueva Karcher de **\$5,035.7**, ahora con este equipo se evita el tiempo de espera por parte de los técnicos al encontrar la Karcher ocupada por otra persona.

- La falta de disponibilidad de operador de montacargas se solucionó mediante la tercerización de este servicio a la empresa Transber S.A.C. La tabla 4 muestra los datos del pago que realiza mensualmente D&M por los servicios de montacargas y Rigger, sin embargo, este costo varía mensualmente, por ello se calculó el promedio:

Tabla 8. Costo de tercerización de servicio de montacargas y rigger

Mes	Costo tercerización asumido por D&M
Junio	\$ 1,103.56
Julio	\$ 1,227.01
Agosto	\$ 1,231.29
PROMEDIO	\$ 1,187.29

Fuente: Elaboración propia

La tabla 8 muestra un costo de tercerización mensual de aproximadamente \$ 1,187. Esto, proyectado a un año nos da un costo de **\$ 14,247**.

- Para considerar las mejoras en general, como rediseños, creación de *shadow boards*, planes de acción de 5S, se tomará como costo de inversión mi mano de obra, es decir del practicante de D&M, por todo un año. A pesar de que las prácticas no solo implicaban la aplicación de Lean.

• Tabla 9. Costo de mano de obra

	Costo/mes
Mano de obra practicante	\$ 600.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 muestra un costo de mano de obra mensual de \$600, esto calculado en un año resulta \$7,200.

En conclusión, el costo total de inversión, luego de sumar lo antes declarado, es de: \$29,332.

4.1.2. Análisis de ahorros suaves

El cálculo de ahorros suaves totales se realizó con proyección a un año, así como se calculó el costo de inversión.

Cuando hablamos de ahorros suaves, se hace referencia a aquellos beneficios que en términos monetarios no pueden reclamarse. Sin embargo, al haber mejorado la eficiencia en el proceso, los

trabajadores de D&M pueden ocuparse en la realización de otras actividades (adicionales a las que estaba haciendo antes de la mejora del proceso).

Al igual que con la inversión, se evaluará cada mejora y se indicará que ahorro ha sido el que ha generado:

- El plan de reposición de herramientas de mano y la actualización de *shadow boards* en las mesas de trabajo, ayudaron a que los técnicos de mantenimiento no pierdan parte de su tiempo buscando dichas herramientas.

Para iniciar con el cálculo aproximado de ahorros, es necesario primero identificar los tiempos aproximados de realización de mantenimiento de las herramientas, según los VSM realizados anteriormente:

Tabla 10. Tiempo aproximado de mantenimientos

Herramienta	Tiempo (días)
TeleScope (MMA) de MWD Mechanic	2
TeleScope (MTA) de MWD Mechanic	2
TeleScope (PMEA) de MWD Electronic	1
Powerpak	1
PowerDrive de RSS	1

Fuente: Elaboración propia

Es primordial recalcar que el mantenimiento de estas herramientas no se realiza todos los días, a continuación, se indica el número de servicios de mantenimiento aproximados por año, de acuerdo con la data de años pasados.

Tabla 11. Número de servicios de mantenimiento por año

Herramienta	Servicios por año
TeleScope (MMA) de MWD Mechanic	30
TeleScope (MTA) de MWD Mechanic	30
TeleScope (PMEA) de MWD Electronic	60
Powerpak	80
PowerDrive de RSS	8

Fuente: Plataforma QTrac de Schlumberger

Entonces, realizando el cálculo de días empleados en el mantenimiento de herramientas por el transcurso de un año, se obtiene lo siguiente:

Tabla 12. Días empleados para mantenimientos en un año

Herramienta	Días por año
TeleScope (MMA) de MWD Mechanic	60
TeleScope (MTA) de MWD Mechanic	60
TeleScope (PMEA) de MWD Electronic	60
Powerpak	80
PowerDrive de RSS	8

Fuente: Elaboración propia

Ahora, en términos generales, se calculó el tiempo que les tomaba a los técnicos de mantenimiento buscar las herramientas de mano que no tenían un lugar correcto de almacenamiento o que simplemente faltaban en el área, por lo que era necesario ir a prestarlas a otras áreas.

Tabla 13. Cálculo de tiempo perdido por día

Desperdicio	Tiempo perdido (min/día)
Buscar las herramientas de mano en otras áreas, lo que incluye caminar de laboratorio a taller o viceversa	10
Retornar las herramientas de mano a sus lugares correctos	5
Buscar herramientas de mano sin <i>shadow boards</i> pero que están en la mesa de trabajo desordenadas	5
TOTAL	20

Fuente: Elaboración propia

Teniendo esta data, se puede calcular el tiempo perdido a lo largo de un año para el mantenimiento de cada una de las herramientas señaladas anteriormente, al multiplicar la tabla 12 con la tabla 13, se obtiene:

Tabla 14. Tiempo perdido en el mantenimiento por búsqueda de herramientas de mano

Herramienta	Tiempo perdido (min/año)	Tiempo perdido (h/año)
TeleScope (MMA) de MWD Mechanic	1200	20
TeleScope (MTA) de MWD Mechanic	1200	20
TeleScope (PMEA) de MWD Electronic	1200	20
Powerpak	1600	26.7
PowerDrive de RSS	160	2.7
TOTAL	5360	89.4

Fuente: Elaboración propia

El costo/hora hombre para realizar el mantenimiento de estas herramientas según la data de QTrac es de \$100/hora, la siguiente imagen lo confirma:

Service Provided	PO #	Time [Hrs]	Cost [USD]	Comments	Repair Type	Down for Repair	Repair Done	LDAP Alias & Date
Labor		0.05	5	(SL1) Mot...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.0167	1.67	(SL0) Che...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.0333	3.33	(SL1) Exa...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.05	5	(SL2) Exa...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.0333	3.33	(SL1) Che...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.0167	1.67	(SL1) Che...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.1	10	(SL2) Rem...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.05	5	(SL1) Mea...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.05	5	(SL2) Che...				kiwasaki 22-Jul-2019
Labor		0.1	10	(SL2) Ins...				kiwasaki 22-Jul-2019

Figura 93. Costo de mano de obra para la realización del mantenimiento de las herramientas

Fuente: QTrac de Schlumberger

En conclusión, al haberse calculado el tiempo perdido aproximado de 89.4 horas por año, para el mantenimiento de las herramientas, y al demostrar que el costo de mano de obra es de \$100/hora, se puede calcular que el costo por año es de \$8,940.

Estos \$8,940, fueron evitados con la implementación de shadow boards en el área y con la compra de las herramientas de mano faltantes. Por tal motivo, se consideran ahorros suaves.

- El comprar una Karcher adicional, para el lavado de las herramientas, generó la desaparición de tiempo de espera al encontrar la Karcher ocupada por otra persona. Según los VSM antes realizados este tiempo de espera era el siguiente:

Tabla 15. Tiempo de espera aproximado por herramienta

Herramienta	Tiempo de espera (min)	Número de veces que se utiliza la zona de lavado según VSM	Tiempo de espera total (min)
Powerpak	10	2	20
TeleScope	10	2	20
arcVision	10	1	10
PowerDrive	10	1	10

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indica el número de servicios de mantenimiento aproximados por año, de acuerdo con la data de años pasados. Esto nos ayuda a saber cuántas veces ha regresado la herramienta de pozo y ha requerido ingresar a la zona de lavado.

Tabla 16. Número de servicios de mantenimiento en general por año

Herramienta	Servicios por año
TeleScope	60
Powerpak	80
PowerDrive	8
arcVision	30

Fuente: Elaboración propia

Teniendo esta data, se puede calcular el tiempo perdido a lo largo de un año al multiplicar la tabla 15 y 16. Este tiempo pudo haber sido aprovechado para el mantenimiento de cada una de las herramientas señaladas anteriormente.

Tabla 17. Tiempo perdido por esperar disponibilidad de Karcher

Herramienta	Tiempo perdido (min/año)	Tiempo perdido (h/año)
TeleScope	1200	20
Powerpak	1600	26.7
PowerDrive de RSS	80	1.3
arcVision	300	5
TOTAL	3180	53

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, al haberse calculado el tiempo perdido aproximado de 53 horas por año, para el mantenimiento de las herramientas, y al demostrar que el costo de mano de obra en mantenimiento es de \$100/hora, se puede calcular que el costo por año es de \$5,300.

Estos \$5,300, fueron evitados con la compra de una nueva Karcher. Por tal motivo, se consideran ahorros suaves.

- La tercerización del servicio de operador de montacargas y rigger trajo consigo mucho ahorro para los técnicos de D&M.

Al existir solo dos técnicos con certificación para manejo de montacargas, generaba una gran pérdida de tiempo para ellos, o inclusive, mucho tiempo de espera para aquellas personas que querían mover sus herramientas, pero que no podían hacerlo por estar estos dos técnicos ocupados. La figura de rigger la podía realizar cualquier técnico, pero de igual forma consumía tiempo.

Con estas consideraciones, cabe resaltar que a pesar que en los VSM se precisa la utilización del montacargas en ciertas partes del proceso. La operación con el montacargas es labor de todos los días, ya sea para: mover tubulares entre racks, descargar tubulares de racks para enviarlos a inspección o a otros países, carga y descarga de camiones, mover material pesado de un lado a otro, además de considerar el llenado de checklist para cada operación.

Luego de exponer lo anterior, se calculó un promedio de utilización de montacargas de 2.5 horas por día, no de forma continua, sino entre tramos.

En primer lugar, se calculará el gasto que implicaba realizar estas actividades. El pago por técnico en D&M asciende a \$10 por hora, se puede estimar el gasto mensual y anual por realizar esta actividad de montacargas y rigger.

Tabla 18. Tiempo empleado para la operación de montacargas y rigger

Actividad	Tiempo (h/semana)	Tiempo (h/mes)	Tiempo (h/año)
Técnico de D&M realizando labor de operador de montacargas	12.5	50	600
Técnico de D&M realizando labor de rigger	12.5	50	600

Fuente: Elaboración propia

La tabla 18 muestra un tiempo empleado por año de 1200 horas para realizar la labor de operador y rigger, esto implica que el gasto es de \$12,000.

Claro está que este pago no era adicional al sueldo de los técnicos, sin embargo, les consumía 2.5 horas de su tiempo que se pueden utilizar para otras actividades. El tercerizar este servicio genera un ahorro suave al segmento de \$12,000.

Pero este cálculo es sobre el tiempo perdido por los técnicos que ejercían la labor de operador y rigger, en segunda instancia se debe calcular el tiempo que perdían los técnicos que esperaban por la disponibilidad de montacarguista en los procesos detallados en los VSM, esto pasaba cuando cualquiera de los dos haya estado ocupado.

Tabla 19. Tiempo de espera aproximado por herramienta

Herramienta	Tiempo de espera total (min)
Powerpak	45
TeleScope	30
arcVision	40
PowerDrive	45

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se indicaba el número de servicios de mantenimiento en general por año. Entonces, multiplicando la tabla 19 con la tabla 16 se puede determinar el tiempo de espera total por disponibilidad de operador de montacargas en un año.

Tabla 20. Tiempo perdido por esperar disponibilidad de operador de montacargas

Herramienta	Tiempo perdido (min/año)	Tiempo perdido (h/año)
Powerpak	3600	60
TeleScope	1800	30
ArcVision	1200	20
PowerDrive	360	6
TOTAL	6960	116

Fuente: Elaboración propia

Como este tiempo perdido está dentro del proceso de ciclo de mantenimiento, se concluye que, al haberse calculado el tiempo perdido aproximado de 116 horas por año, y al demostrar que el costo de mano de obra en mantenimiento es de \$100/hora, se puede calcular que el costo por año es de \$11,600. Estos \$11,600 fueron evitados con la tercerización del servicio. Por tal motivo, se consideran ahorros suaves.

Entonces, en total los ahorros suaves por tercerizar el servicio de montacargas y rigger es de \$12,000 + \$11,600, lo que suma \$23,600.

- Rediseñar las áreas también trajo consigo ahorros suaves, esto debido a que ahora los técnicos se movilizan menos y en consecuencia realizan el mantenimiento en menos tiempo en su respectiva área.

El cálculo de estos ahorros también se realizó con proyección a un año y en función al tiempo ahorrado observado y calculado al realizar los mantenimientos.

a. MWD Mechanic, Electronic, LWD y RSS

Los rediseños para estas áreas no fueron tan grandes, solo implicó mover pequeñas cosas para acortar la movilización de los técnicos. En tal sentido, se calculó que con los diseños Lean implementados, el tiempo ahorrado para el mantenimiento de las herramientas según el área que correspondan son:

Tabla 21. Tiempo ahorrado con diseño Lean

Herramienta	Tiempo ahorrado (min/servicio)
TeleScope	10
ArcVision	15
PowerDrive	15

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de servicios por año se indicaron en la tabla 16, al multiplicar con la tabla 21, se puede calcular el tiempo ahorrado por año:

Tabla 22. Tiempo ahorrado por año con diseño Lean

Herramienta	Tiempo ahorrado (min/año)	Tiempo ahorrado (h/año)
TeleScope	600	10
ArcVision	450	7.5
PowerDrive	120	2
TOTAL	1170	19.5

Fuente: Elaboración propia

La tabla 22 indica un tiempo ahorrado de 19.5 horas al año, como ya es conocido en el mantenimiento de estas herramientas, el costo de mano de obra es de \$100/ hora. En este sentido, se corrobora que los ahorros suaves por aplicar diseño Lean en estas áreas es de \$1,950 por año.

b. Surface

Surface es el área en la cual se realiza el mantenimiento de muchos equipos, la realización de estos mantenimientos las realiza una sola técnica que a la vez es electrónica y realiza otras labores.

Los pozos de perforación en el norte pueden durar entre 1 o 2 semanas aproximadamente, luego de esto, la cabina con los equipos de *Surface* es retornada a base para su mantenimiento.

En un mes, se puede realizar cerca de 6 mantenimientos a equipos en cabinas que van y vienen, porque una vez terminado un pozo, empieza otro.

El cambio de diseño en el área de *Surface* es muy grande y notable, esto se puede observar al comparar la figura 15 y figura 31. Con este diseño Lean, se calculó que el tiempo ahorrado para mantenimiento de equipos es de aproximadamente una hora por cabina.

Esto se debe a que el mantenimiento de todos los equipos, no se realiza en un solo día y el desplazamiento en el área es de manera continua.

Entonces, al haber indicado que en un mes se realizan cerca de 6 mantenimientos a equipos en cabinas, en un año, se realizan aproximadamente 72 mantenimientos.

De esta forma, el total ahorrado sería de 72 horas por año y como el costo de mano de obra es de \$100/ hora, se corrobora que el ahorro suave por aplicar diseño Lean en el área de *Surface* es de \$7,200 por año.

c. *Powerpak*

Al igual que en el área de *Surface*, *Powerpak* sufrió grandes cambios en su diseño que ayudó a aprovechar mejor los espacios y eliminar los riesgos de SST.

Con el diseño Lean, se calculó que el tiempo de mantenimiento se redujo en 20 minutos por servicio.

Como en los otros cálculos, al proyectarse a un año y al saber que la cantidad de servicios de *Powerpak* es de 80, según la tabla 16, se afirma que el ahorro por año es de 960 minutos o 16 horas.

Como el costo de mano de obra para el mantenimiento de *Powerpak* es de \$100/hora, entonces el ahorro suave por este diseño Lean sería de \$1600.

Finalmente, se han calculado los ahorros suaves al haber implementado todas las mejoras antes mencionadas. La suma de estos ahorros suaves es de \$48,590, pero para que estas mejoras hayan sido posibles, se requirió una inversión que ascendió a \$29,332.

Concluyendo entonces que los ahorros netos y suaves fueron de **\$19,258** proyectados a un año.

4.2. Cálculo de la eficiencia actual

Para el cálculo de la eficiencia actual, se utilizará nuevamente la herramienta VSM. Anteriormente se utilizó esta herramienta para la medición de tiempos y para indicar los desperdicios del proceso, con ello fue fácil identificar los tiempos de valor no agregado.

Al aplicar las mejoras con Lean y DMAIC, muchos de estos desperdicios se eliminaron, esto conlleva a un aumento de la eficiencia.

a. VSM actual de *Powerpak*

En *Powerpak* se eliminaron los siguientes desperdicios:

- Falta de personal de apoyo, esto mediante la recontratación de un técnico mecánico que ya anteriormente había trabajado en D&M
- Falta de disponibilidad de operador y rigger de montacargas
- Karcher no disponible
- Demora en localización de herramientas de mano
- Falta de pintura para el pintado final de la herramienta
- Retraso en mantenimiento de *Bearing Section* por diseño mal aprovechado

Eliminar esto conllevó que la eficiencia del ciclo de mantenimiento de *Powerpak* aumente, puesto que el tiempo de valor no agregado disminuyó.

Además, al ahora existir apoyo de un trabajador extra, el tiempo de valor agregado también disminuye. A continuación, más detalle:

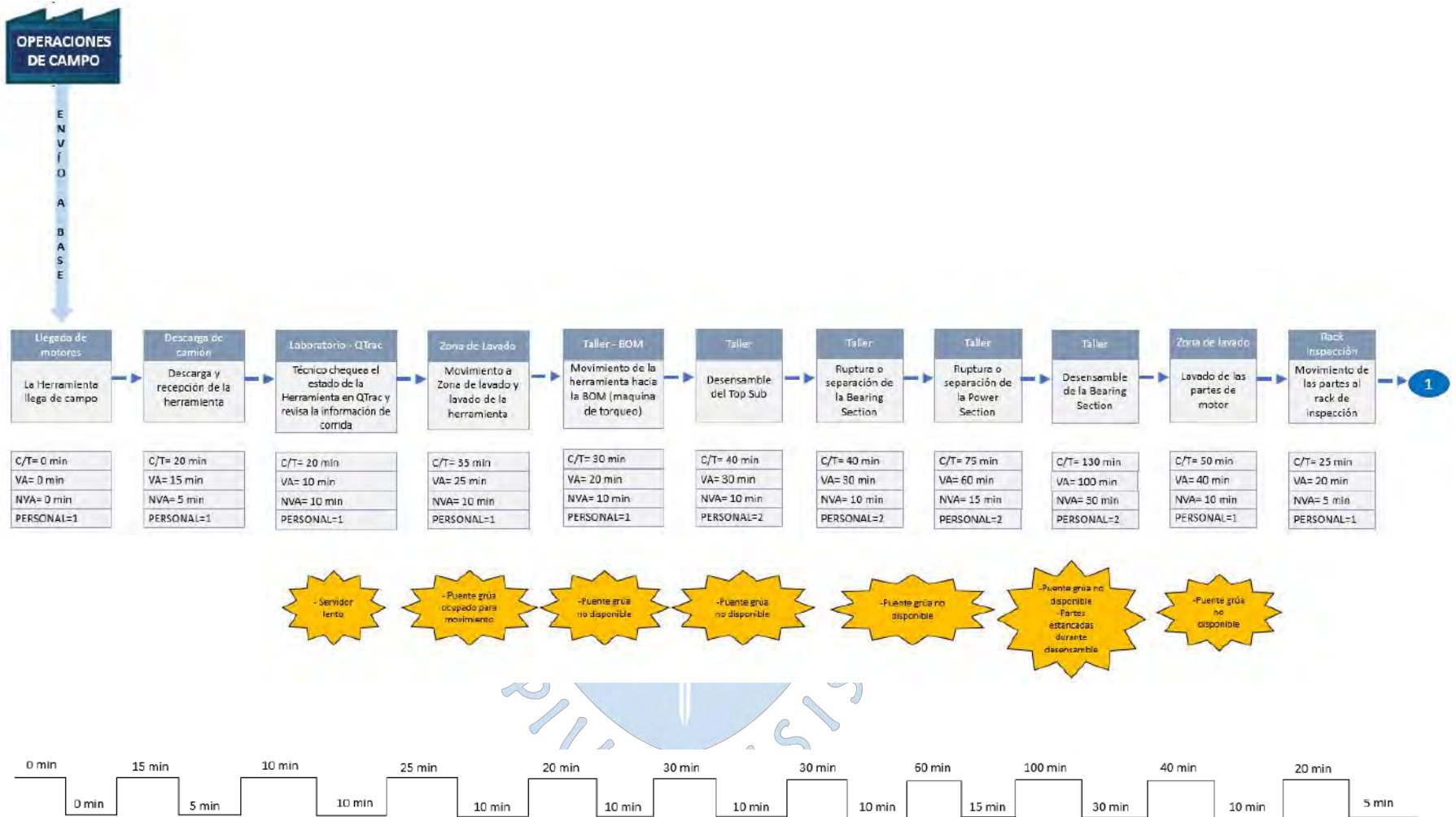


Figura 94. VSM actual de Powerpak
Fuente: Elaboración propia

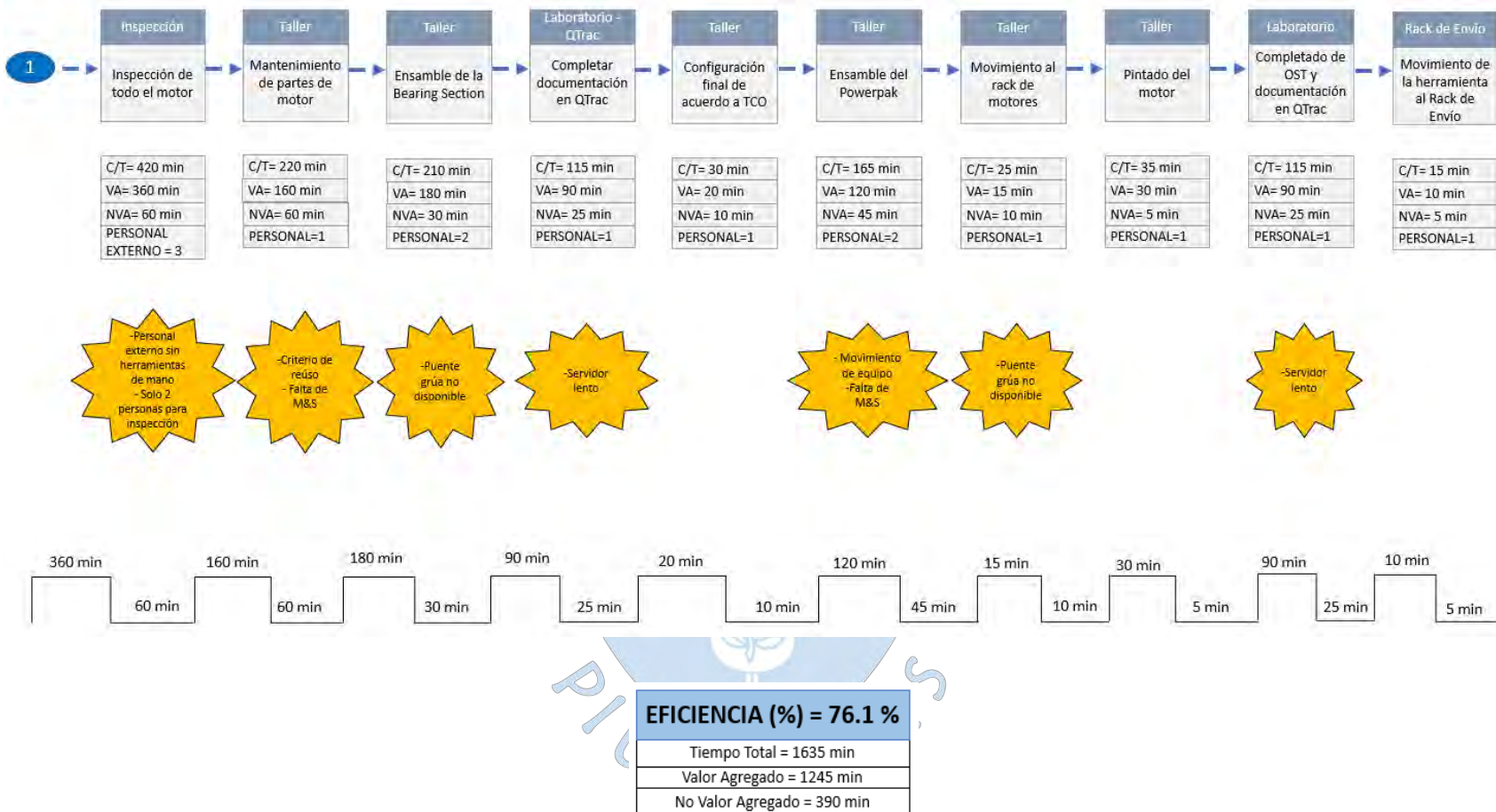


Figura 95. VSM actual de Powerpak
Fuente: Elaboración propia

La figura 95 muestra que la eficiencia actual del ciclo de mantenimiento de *Powerpak* es de 76.1%, esto indica que la eficiencia aumentó en 11.9%, ya que la visión pasada arrojaba 64.2% según la figura 36.

Es notable que aún existen desperdicios que no han sido eliminados, estos son:

- Puente grúa no disponible, esto debido a que en taller existe solo un puente grúa de 5 Toneladas
- Servidor lento
- Falta de M&S
- Personal externo sin herramientas de mano

b. VSM actual de *Surface*

En *Surface* fueron pocos los desperdicios que se eliminaron, estos fueron:

- Grúa externa no disponible, esto se logró eliminar con el aumento de la cartera de proveedores que brindan el servicio de alquiler de grúa
- Descarga de equipos de cabina en Base 2 y movilización a Base 1. Se designó un área en Base 1 para las cabinas
- Proveedores no disponibles para reparar los defectos de cabina, al igual que en el primer punto, se aumentó la cartera de proveedores
- Falta de consumibles, se impuso que el ingreso de órdenes de compra por consumibles de cabina para pozo se haga con anticipación

Eliminar esto conllevó que la eficiencia del ciclo de mantenimiento de los equipos de *Surface* aumente ligeramente, puesto que el tiempo de valor no agregado disminuyó un poco.

Cabe resaltar que solo existe una técnica encargada del área de *Surface*, que a la vez realiza la labor de técnica electrónica para otras herramientas. Esto hace que el ciclo de mantenimiento de *Surface* sea extenso y posea mucho valor no agregado.

A continuación, más detalle:

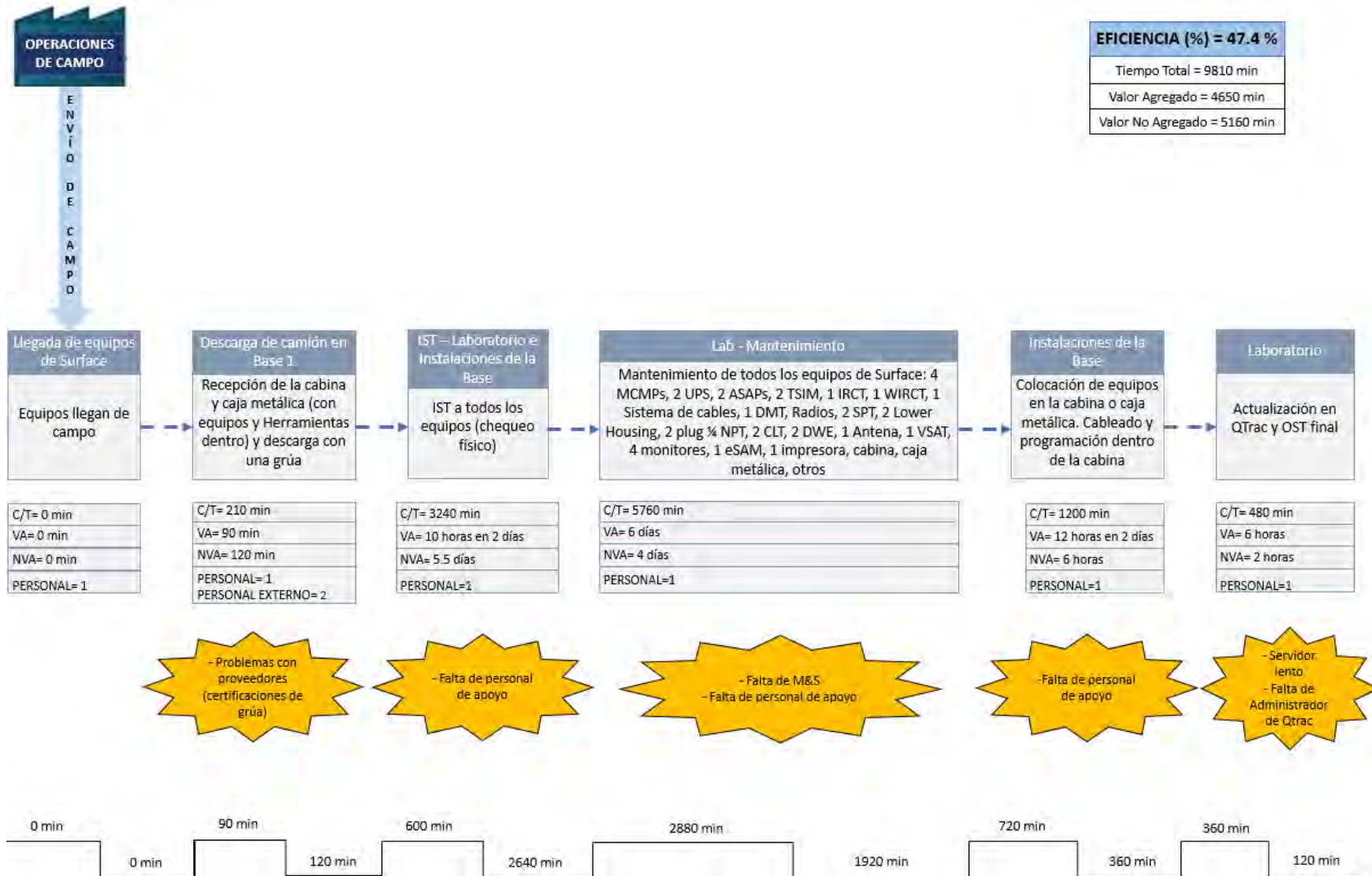


Figura 96. VSM actual de Surface
Fuente: Elaboración propia

La figura 96 muestra que la eficiencia actual del ciclo de mantenimiento de los equipos de *Surface* es de 47.4%, esto indica que la eficiencia aumentó en 1.5%, ya que la visión pasada arrojaba 45.9% según la figura 38.

Es notable que aún existen desperdicios que no han sido eliminados, estos son:

- Problemas con proveedores por certificaciones, Schlumberger es muy estricto con el tema de SST y por ello requiere que los proveedores tengan certificaciones al día de sus grúas y operadores
 - Falta de personal de apoyo al solo existir una técnica encargada de *Surface*
 - Falta de M&S
 - Servidor lento
 - Falta de personal con cargo de Administrador de QTrac
- c. VSM actual de *TeleScope (MWD)*

Los desperdicios eliminados en el ciclo de mantenimiento de la herramienta *TeleScope* de *MWD* fueron:

- Falta de disponibilidad de operador y rigger de montacargas
- Karcher no disponible
- Demora en localización de herramientas de mano
- BOM no disponible

Eliminar esto conllevó que la eficiencia del ciclo de mantenimiento de *TeleScope* aumente, puesto que el tiempo de valor agregado y no agregado disminuyó. A continuación, más detalle:

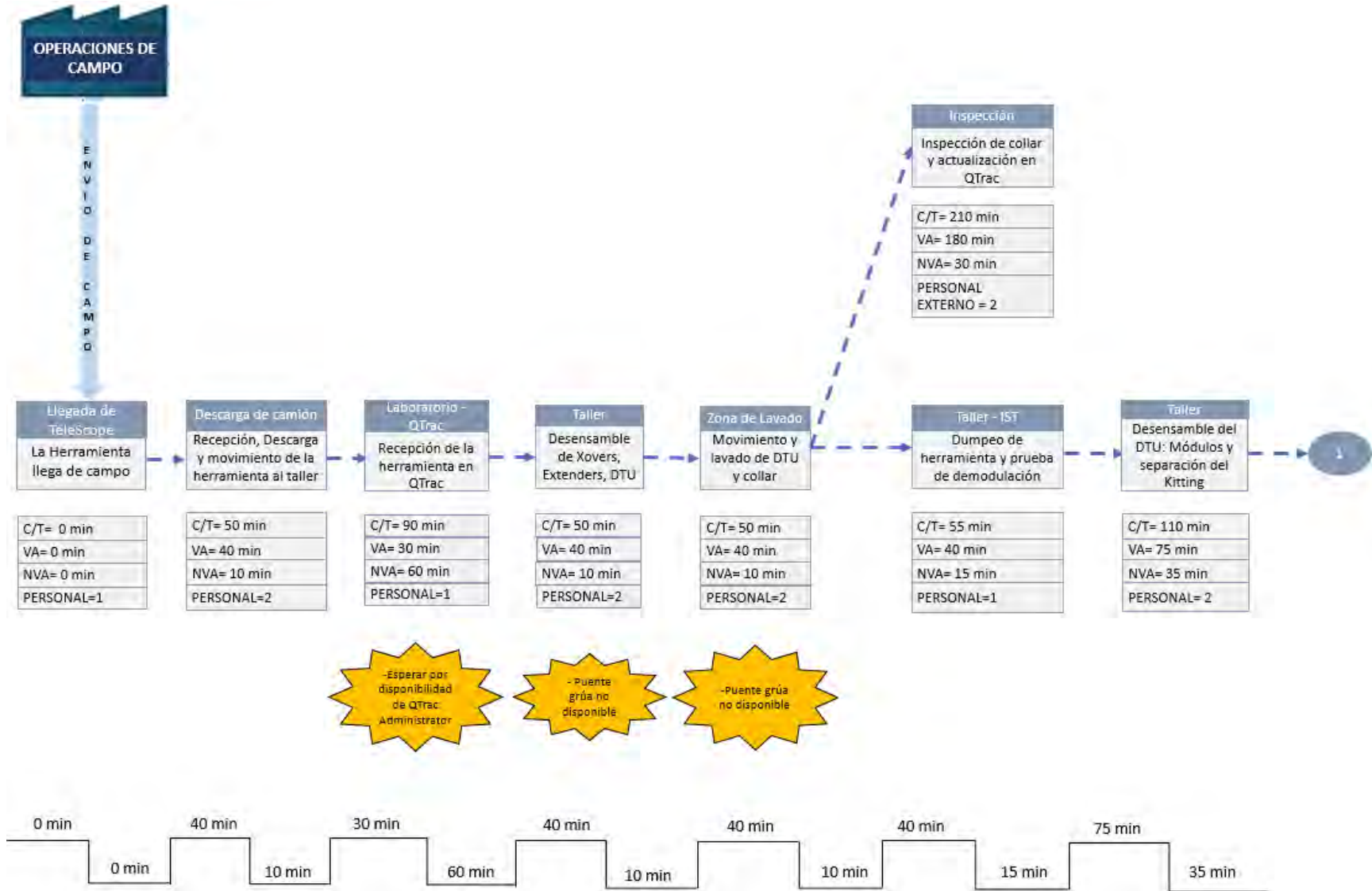


Figura 97. VSM actual de Telescope
Fuente: Elaboración propia

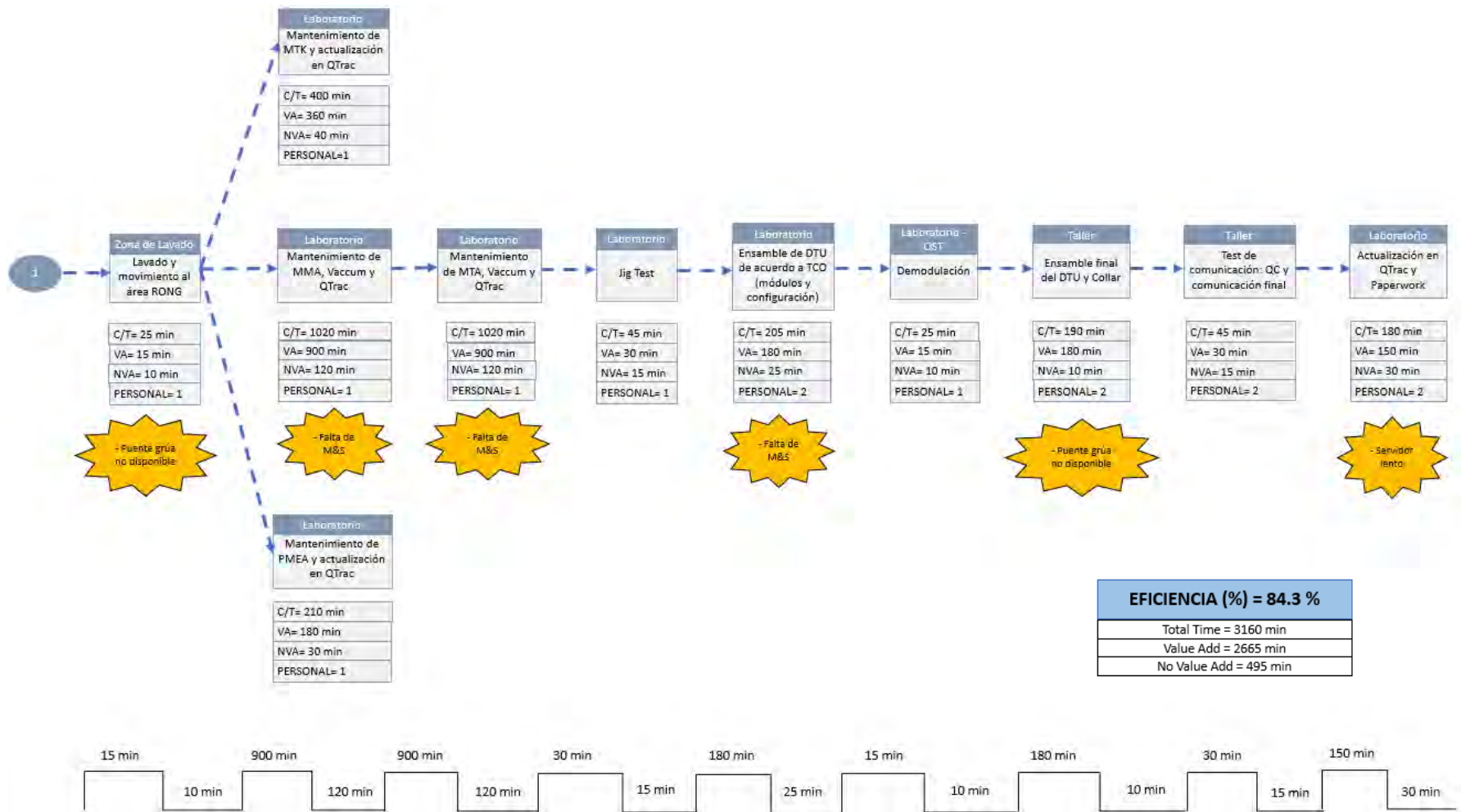


Figura 98. VSM actual de TeleScope
Fuente: Elaboración propia

La figura 98 muestra que la eficiencia actual del ciclo de mantenimiento de *TeleScope* de *MWD* es de 84.3%, esto indica que la eficiencia aumentó en 3.6%, ya que la visión pasada arrojaba 80.7% según la figura 41.

Es notable que aún existen desperdicios que no han sido eliminados, estos son:

- Puente grúa no disponible, esto debido a que en taller existe solo un puente grúa de 5 Toneladas
- Servidor lento
- Falta de M&S
- Falta de personal con cargo de Administrador de QTrac

d. VSM actual de *ArcVision* (*LWD*)

Los desperdicios eliminados en el ciclo de mantenimiento de la herramienta *arcVision* de *LWD* fueron:

- Falta de disponibilidad de operador y rigger de montacargas
- Karcher no disponible
- Demora en localización de herramientas de mano
- *Special Tools* no disponibles
- BOM no disponible
- Falta de disponibilidad de set-up (cables, adaptadores)

Eliminar esto conllevó que la eficiencia del ciclo de mantenimiento de *arcVision* aumente, puesto que el tiempo de valor agregado y no agregado disminuyó. A continuación, más detalle:

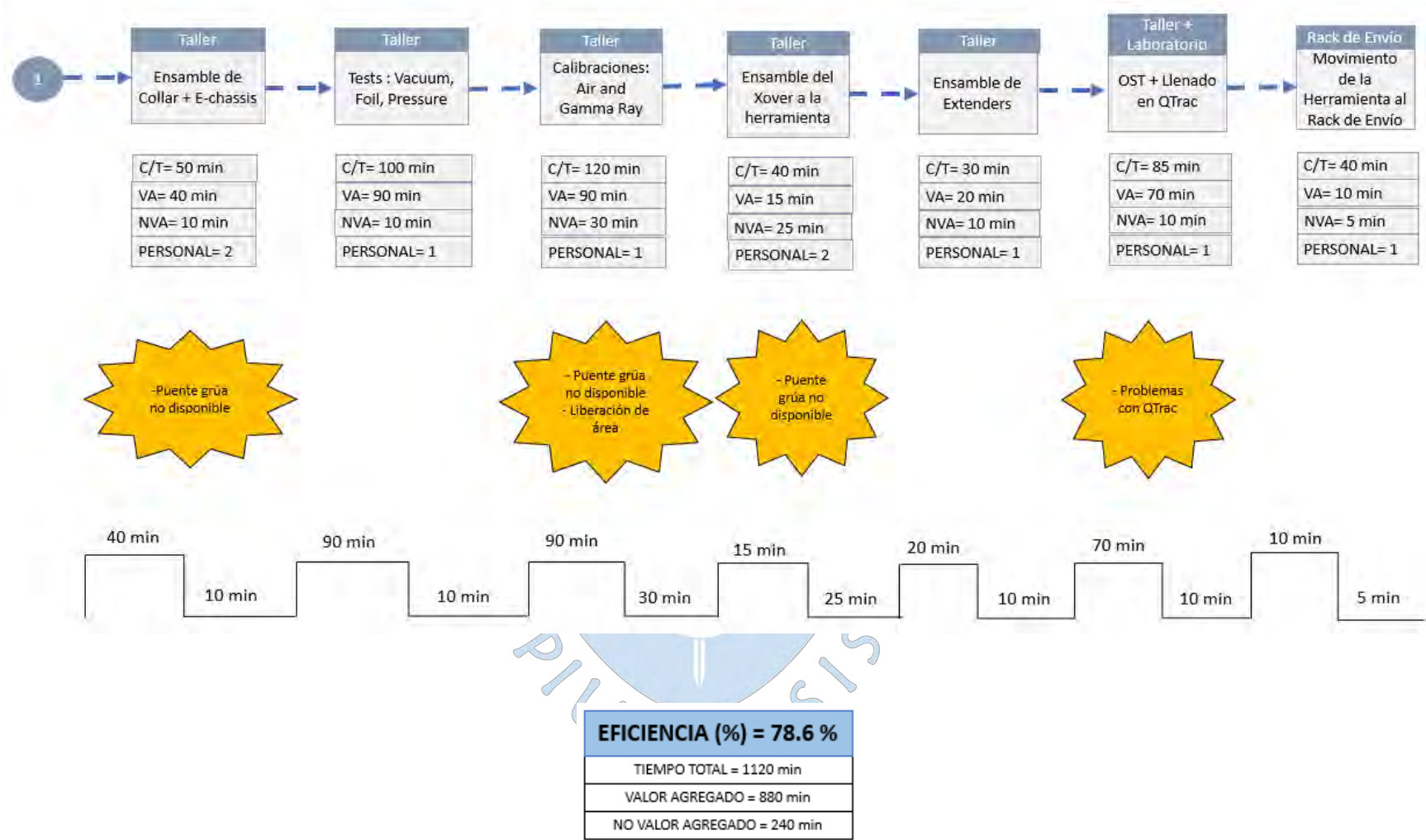


Figura 100. VSM actual de arcVision
 Fuente: Elaboración propia

La figura 100 muestra que la eficiencia actual del ciclo de mantenimiento de *arcVision* de *LWD* es de 78.6%, esto indica que la eficiencia aumentó en 15.1%, ya que la visión pasada arrojaba 63.5% según la figura 44.

A pesar de eso, aún existen desperdicios que retrasan las actividades, estos son:

- Puente grúa no disponible, esto debido a que solo existe un puente grúa de 5 Toneladas en taller
 - Servidor lento y problemas con QTrac
 - Liberación de área para calibración aérea
 - Falta de M&S
 - Set up de boroscopio
 - En algunas oportunidades el servicio de inspección contratado envía 1 persona, deberían ser 2
 - Falta de personal con cargo de Administrador de QTrac
- e. VSM actual de *PowerDrive* (RSS)

Los desperdicios eliminados en el ciclo de mantenimiento de la herramienta *PowerDrive* de RSS fueron:

- Falta de disponibilidad de operador y rigger de montacargas
- Karcher no disponible
- Demora en localización de herramientas de mano
- *Special Tools* no disponibles
- BOM no disponible
- Falta de disponibilidad de set-up (cables, adaptadores)

Eliminar esto conllevó que la eficiencia del ciclo de mantenimiento de *arcVision* aumente, puesto que el tiempo de valor agregado y no agregado disminuyó. A continuación, más detalle:

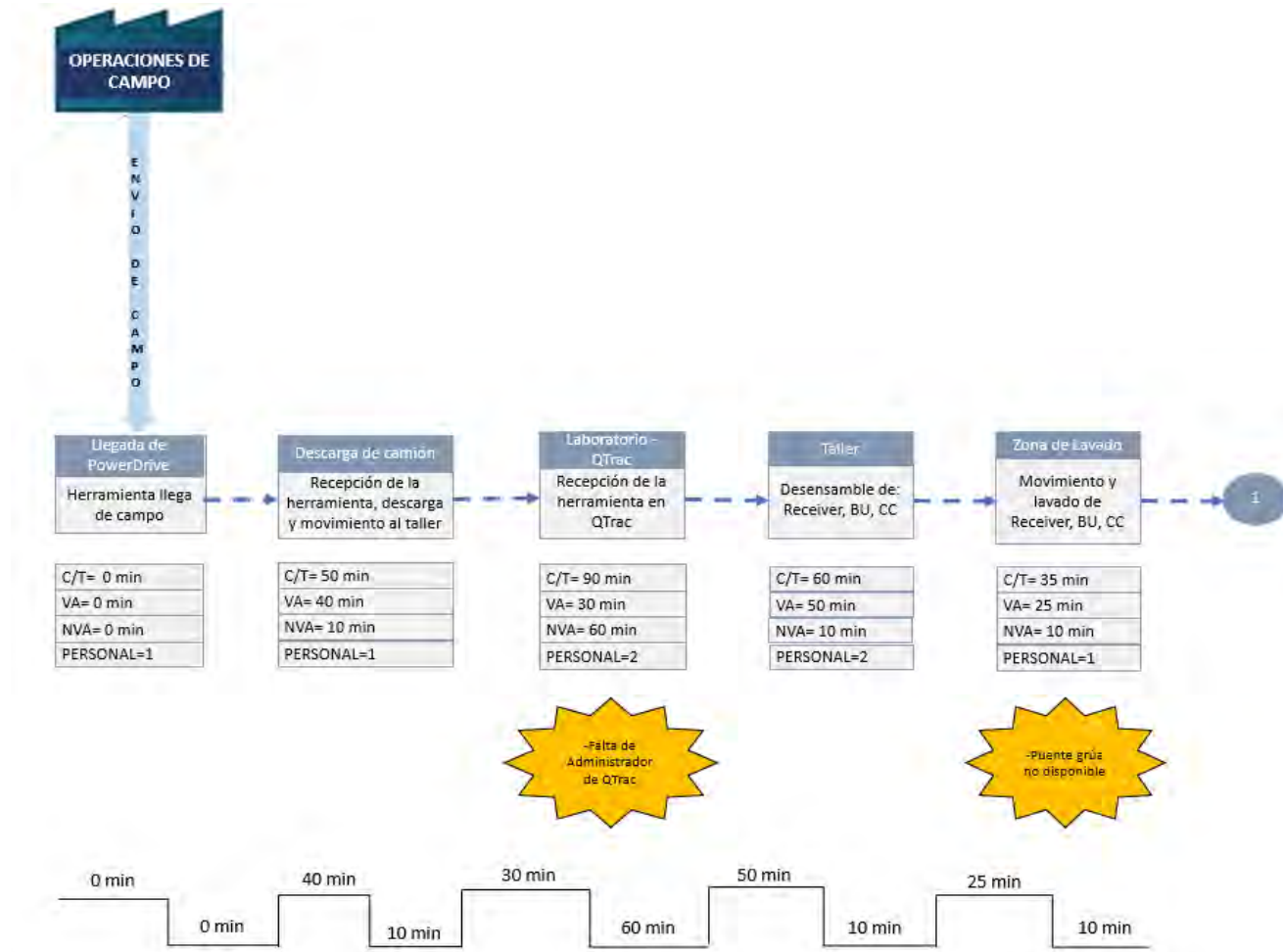


Figura 101. VSM actual de PowerDrive
Fuente: Elaboración propia

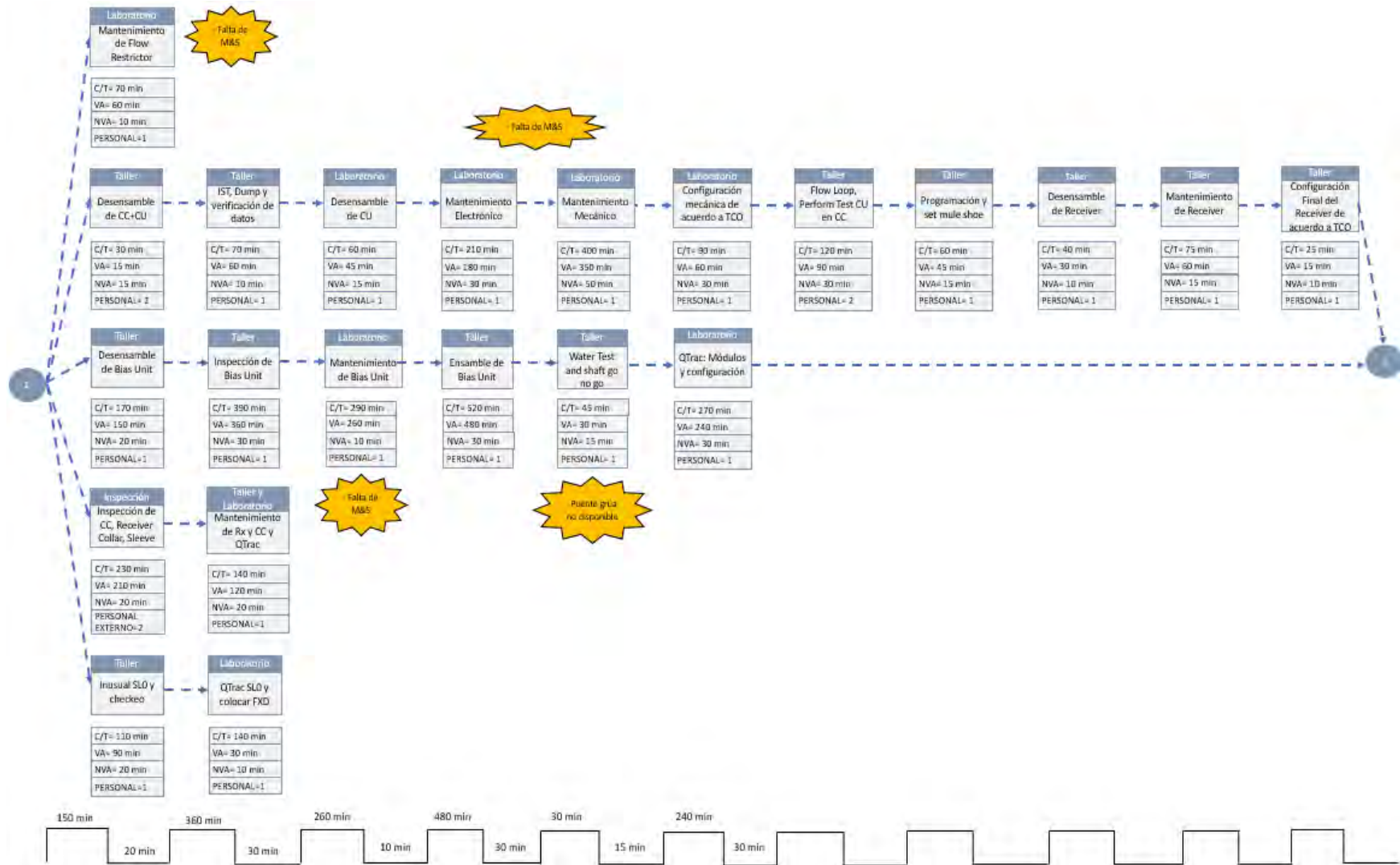


Figura 102. VSM actual de PowerDrive
Fuente: Elaboración propia

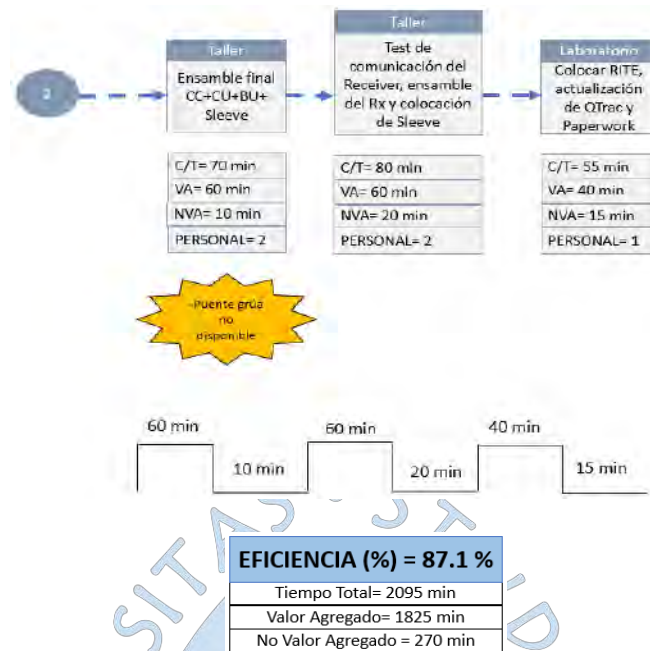


Figura 103. VSM actual de PowerDrive
Fuente: Elaboración propia

La figura 103 muestra que la eficiencia actual del ciclo de mantenimiento de *PowerDrive de RSS* es de 87.1%, esto indica que la eficiencia aumentó en 6%, ya que la visión pasada arrojaba 81.1%, según la figura 48.

A pesar de eso, aún existen desperdicios que retrasan las actividades, estos son:

- Puente grúa no disponible, esto debido a que solo existe un puente grúa de 5 Toneladas en taller
- Falta de M&S
- Falta de administrador de QTrac

En resumen, la eficiencia para el mantenimiento de todas las herramientas antes mencionadas ha aumentado gracias a la eliminación de desperdicios mediante la aplicación de herramientas Lean y DMAIC. Como resultado se obtuvo:

Tabla 23. Porcentaje de aumento de eficiencia de todas las herramientas

Herramienta	Eficiencia pasada	Eficiencia actual	Variación
Powerpak	64.2%	76.1%	11.9%
Surface	45.9%	47.4%	1.5%
TeleScope de MWD	80.7%	84.3%	3.6%
ArcVision de LWD	63.5%	78.6%	15.1%
PowerDrive de RSS	81.1%	87.1%	6.0%

Fuente: Elaboración propia





Conclusiones

1. El tener el laboratorio y taller de D&M mucho más ordenado, ayudó al personal técnico para que realicen sus labores de mantenimiento, sin tener tiempos muertos que perjudiquen el proceso.
2. Aplicar las herramientas que ofrecen las metodologías Lean & DMAIC, nos ayudó a que de manera estructurada y lógica, se eliminen aquellos desperdicios identificados en D&M, logrando atacar desde la causa raíz hasta la generación de un control de las mejoras implementadas.
3. El desperdicio de falta de disponibilidad de operador de montacargas, conllevó a combatirlo mediante estrategias de manera conjunta entre los diversos segmentos que posee Schlumberger. Esto conlleva a resaltar que la comunicación no solo se debe concentrar dentro de D&M.
4. Todas las mejoras implementadas ayudaron a generar un incremento de la eficiencia en el ciclo de mantenimiento de las herramientas de perforación, llegando a aumentar hasta en 15% la eficiencia.
5. Los diseños Lean, 5S, Eventos Kayzen, Poka Yoke y otras mejoras, ayudaron a eliminar los tiempos de valor no agregado, pero, además, generaron ahorros suaves de \$19,258 proyectados a un año.
6. Es sumamente importante sostener las mejoras implementadas y no dejar de innovar, por ello la comunicación y capacitación constante con el personal es necesaria. Asimismo, un plan de reconocimientos por puesta en marcha de proyectos que ayuden a mejorar el segmento D&M y produzcan ahorros.



Referencias Bibliográficas

- Arenas, R. (2017). *Diseño de un taller integral de mantenimiento para Well Services de Schlumberger (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánico-Eléctrica)*. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Piura, Peru.
- Bahena, M., & Reyes, P. (2006). *Curso de Seis Sigma*. Mexico: Universidad Iberoamericana.
- Castrejón, A. (2016). *Implementación de herramientas de Lean Manufacturing en el área de empaque de un laboratorio farmacéutico (Tesis de Maestría)*. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Hernandez, C. (2014). *La Metodología Lean Seis Sigma, sus herramientas y ventajas*. Xalapa, Mexico: Universidad Veracruzana.

Hernandez, J. C., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnica e implantación*. Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial.

McGee-Abe, J. (08 de Diciembre de 2015). *The 8 Deadly Lean Wastes - DOWNTIME*. Obtenido de Process Excellence Network: <https://www.processexcellencenetwork.com/business-transformation/articles/the-8-deadly-lean-wastes-downtime>

Rajadell, M., & Sánchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad*. Madrid: Diaz de Santos.

Sacristan, F. R. (2005). *Las 5S: orden y limpieza en el puesto de trabajo*. Madrid: FC Editorial.

Schlumberger Limited. (s.f.). *History*. Obtenido de Oilfield Services Schlumberger: <https://www.slb.com/about/history.aspx>

Six Sigma Institute. (2019). Obtenido de Six Sigma Institute: https://www.sixsigma-institute.org/What_Is_Six_Sigma.php

Six Sigma Material. (2019). Obtenido de Six Sigma Material: <http://www.six-sigma-material.com/Spaghetti-Diagram.html>

Socconini, L. (2008). *Lean Manufacturing, paso a paso*. Editorial Norma.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Ross, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. New York: Free Press A Division of Simon & Schuster, Inc.