UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de mejora del proceso de reparación de equipos aplicando Lean
Manufacturing en una empresa de renta de maquinaria para construcción y
minería

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTORES

Miranda Roque, Peter Hugo ([0000-0003-0016-9693](#))

Torres Zevallos, Richard Omar ([0000-0002-5777-4619](#))

ASESOR

Eyzaguirre Munarriz, Juan Carlos ([0000-0003-4617-4412](#))

Lima, 15 de noviembre de 2018

RESUMEN

La investigación del presente documento tuvo como objetivo mejorar el proceso de reparación de equipos pesados. Lean manufacturing fue la base técnica del estudio, estas herramientas surgen de la filosofía japonesa que pretende eliminar todo tipo de desperdicio que se presenta en las distintas etapas de los procesos con la finalidad de tener procesos limpios y eficientes, bajo los dos pilares que ejerce la empresa, seguridad y calidad. Este trabajo muestra el proceso de análisis de identificación de las causas raíz del problema dentro del proceso de reparación, y busca proponer una solución alternativa para la empresa en estudio. Se detalla la información teórica necesaria para entender las etapas del proceso de reparación de equipos pesados, así también, se indica una breve descripción de la empresa y de su proceso de producción. Se utilizó el VSM para la definición del proceso a evaluar, la elección de los parámetros de medición, y el análisis de base datos de registro de la empresa en el año 2017 y hasta julio 2018; para poder identificar las causas raíz que originan la demora en la entrega de equipos reparados, y proponer una alternativa de solución que mejore el nivel de cumplimiento de entrega a tiempo y satisfacer la demanda actual. Esta alternativa está basada en la utilización de herramientas de balance de línea y heijunka para la eliminación de mudas. Finalmente, se han calculado el VAN y TIR para determinar la viabilidad de la inversión de la propuesta de mejora.

Palabras clave: Lean Manufacturing, VSM (Mapeo de flujo de valor), balance de línea y Heijunka.

Proposal to improve the equipment repair process by applying Lean Manufacturing in a
rental company for construction and mining machinery

ABSTRACT

The purpose of the investigation of this document was to improve the repair process of heavy equipment. The lean manufacturing was the technical basis of this study; these tools arise from the Japanese philosophy that tries to eliminate the type of waste that occurs in the different stages of the processes in order to have clean and efficient processes, under the two pillars that exercises the company, safety and quality. This work shows the process of analyzing the identification of the root causes of a problem within a repair process andman seeks an alternative solution for the company in the study. The theoretical information is detailed to understand the stages of a process of repairing heavy equipment, as well as a brief description of the company and its production process. The VSM is used for the definition of the evaluation process, the choice of measurement parameters, and the analysis of the company database in the year 2017 and until July 2018; to be able to identify the root causes that originate the delay in the delivery of repaired equipment, and propose a solution alternative to improve the compliance level of a time and satisfy the current demand. This alternative is based on the use of line balance tools and heijunka for the elimination of wastes. Finally, the NPV and the IRR have been calculated to determine the viability of the investment of the improvement proposal.

Keywords: Lean Manufacturing; VSM (Value Flow Mapping); line balance and Heijunka

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	CAPITULO 1. MARCO TEORICO.....	2
2.1	ANTECEDENTES DEL MERCADO	2
2.2	MARCO TEÓRICO	5
2.2.1	Gestión de mantenimiento	5
2.2.2	Tipo de mantenimiento	5
2.2.2.1	Mantenimiento preventivo.....	5
2.2.2.2	Mantenimiento correctivo.....	6
2.2.3	Gestión de procesos	7
2.2.3.1	Definición de procesos	7
2.2.3.2	Objetivos de la gestión por procesos	8
2.2.3.3	Mapa de procesos	8
2.2.3.4	Clasificación de los procesos.....	10
2.2.3.5	Etapas en la gestión por procesos	10
2.2.3.6	La mejora de los procesos	11
2.2.3.7	Aspectos básicos de la metodología para la gestión por procesos	12
2.2.4	ISO 9001-2015	13
2.2.5	Gestión de la calidad total (TQM).....	15
2.2.6	Balance de línea.....	17
2.2.7	Teoría de colas.....	18
2.2.8	Lean Manufacturing	18
2.2.8.1	Conceptos generales de Lean Manufacturing.....	18
2.2.8.2	Tipos de desperdicios o despilfarros	21
2.2.8.3	Principios del sistema Lean Manufacturing	22
2.2.8.4	Metas y beneficios de Lean Manufacturing	24
2.2.9	Metodología.....	25
2.2.9.1	Etapas de la implementación Lean Manufacturing en cinco etapas	25
2.2.10	Procesos de análisis jerárquico AHP	28
2.2.11	Fundamentos teóricos de las herramientas Lean Manufacturing	30
2.2.11.1	Heijunka, Nivelación de la producción	31
2.2.11.2	Diagrama de Flujo de Valor (Value Stream Mapping, VSM).....	32

2.2.11.3	Las 5'S	34
2.2.11.4	Kaizen	36
2.3	MARCO NORMATIVO	36
2.3.1	Ley N° 29783: “Ley de Seguridad y Salud en el trabajo”	36
2.3.2	Decreto Supremo N.º 024-2016-EM	36
2.3.3	Decreto Legislativo N° 1278: “La ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”	37
2.4	CASOS DE ÉXITOS	37
2.4.1	Caso 1: “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”	37
2.4.1.1	Situación antes de la mejora	37
2.4.1.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	39
2.4.1.3	Resultados y conclusiones de caso	44
2.4.1.4	Vinculación.....	45
2.4.2	Caso 2: “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”	45
2.4.2.1	Situación antes de la mejora	46
2.4.2.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	47
2.4.2.3	Resultados y conclusiones de caso	49
2.4.2.4	Vinculación.....	52
2.4.3	Caso 3: “Optimizing assembly line production through line balancing. A case study”	52
2.4.3.1	Situación antes de la mejora	52
2.4.3.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	55
2.4.3.3	Resultados y conclusiones de caso	60
2.4.3.4	Vinculación.....	60
2.4.4	Caso 4: “Innovative implementation of several lean principles in a flat steel plant: a case study”	61
2.4.4.1	Situación antes de la mejora	61
2.4.4.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	64
2.4.4.3	Resultados y conclusiones de caso	68
2.4.4.4	Vinculación.....	71

2.4.5	Caso 5: “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”	71
2.4.5.1	Situación antes de la mejora	71
2.4.5.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	73
2.4.5.3	Resultados y conclusiones de caso	74
2.4.5.4	Vinculación.....	79
2.4.6	Caso 6: “A study on implementation of lean methodology in the plywood industry”	79
2.4.6.1	Situación antes de la mejora	79
2.4.6.2	Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar	81
2.4.6.3	Resultados y conclusiones de caso	85
2.4.6.4	Vinculación.....	85
3	CAPITULO 2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN	86
3.1	ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA	86
3.1.1	Sector minero.....	86
3.1.2	Sector construcción.....	87
3.2	EMPRESA	88
3.2.1	Misión.....	88
3.2.2	Visión	89
3.2.3	Valores.....	89
3.2.4	Organización.....	89
3.2.5	Servicios	90
3.2.6	Clientes	90
3.2.7	Proveedores	91
3.2.8	Participación del mercado	91
3.3	CADENA DE VALOR.....	91
3.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LA EMPRESA	95
3.4.1	Proceso de reparación de la maquinaria pesada	98
3.4.2	Diagrama de actividades del proceso de reparación de maquinaria pesada ..	101
3.4.3	Maquinaria y equipos	103
3.4.3.1	Rotación de equipos	107
3.4.3.2	Análisis de ventas y compras	113

3.5	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	115
3.6	IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS.....	117
3.7	IMPACTO ECONÓMICO.....	123
3.8	ANÁLISIS DE LAS CAUSAS	127
3.8.1	El análisis de causa raíz con Pareto	127
3.8.2	Mostrar árbol de problemas y de objetivos	139
3.8.3	Vinculación de causa con solución.....	140
3.9	OBJETIVO GENERAL	140
3.10	HIPÓTESIS.....	141
3.11	INDICADORES ACTUALES	141
4	CAPITULO 3. PROPUESTA DE MEJORA.....	142
4.1	RELACIÓN DE CAUSAS Y SOLUCIONES	142
4.2	DISEÑO DE LA PROPUESTA	144
4.3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	154
4.3.1	Etapa 1: Equipo Lean Título.....	155
4.3.2	Etapa 2. Análisis de datos.....	155
4.3.3	Etapa 3. VSM Actual.....	165
4.3.4	Etapa 4: Identificación de la muda	167
4.3.4.1	Identificación de colas	167
4.3.4.2	Identificación de uso de recursos humanos	172
4.3.5	Etapa 5: Propuesta de mejora	173
4.3.5.1	Identificación y secuencia de las áreas del proceso de mejora.....	174
4.3.5.2	Definición de objetivos.....	177
4.3.5.3	Desarrollo de la propuesta	178
4.3.5.3.1	Balance de línea.....	178
4.3.5.3.2	Heijunka	191
4.3.5.3.3	Estandarización.....	195
4.4	REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN	197
4.4.1	Capacitación	197
4.4.2	Control de trabajo estandarizado	198
4.4.3	Plan de implementación.....	200
4.5	INDICADORES	201

4.6	INVERSIÓN Y AHORROS DE LA IMPLEMENTACIÓN	201
5	CAPITULO 4. VALIDACIÓN DEL MODELO	205
5.1	SIMULACIÓN.....	205
5.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA	210
5.2.1	Costo de oportunidad.....	211
5.2.2	Escenario del VAN y TIR	212
5.3	IMPACTOS.....	217
6	CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	218
6.1	CONCLUSIONES	218
6.2	RECOMENDACIONES	219
7	REFERENCIAS	220
8	SIGLARIO	225
9	ANEXOS	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aspectos básicos de las metodologías para la gestión por procesos.	12
Tabla 2 Puntuaciones por la importancia de la variable	30
Tabla 3 Población de investigación	39
Tabla 4 Análisis de valor	40
Tabla 5 Proceso en orden de prioridad	41
Tabla 6 Cadena de valor completa	41
Tabla 7 Ponderación de indicadores	43
Tabla 8 Calificación de competitividad de procesos	43
Tabla 9 Matriz de competitividad de procesos	44
Tabla 10 Grupo de familias del Taller 3	48
Tabla 11 Tareas de cada estación de trabajo de montaje.....	56
Tabla 12 Registro de tiempos por cada estación de trabajo	57
Tabla 13 Comparación de situación actual y mejora en el proceso.....	60
Tabla 14 Ejemplo simplificado de las tres bobinas de acero.....	64
Tabla 15 Proceso de secuencia de montaje de ventiladores domésticos	75
Tabla 16 Cuadro comparativo de alternativas 1, 2 y 3 con el simulador ProModel	78
Tabla 17 Relación de las unidades	103
Tabla 18 Estadísticas para el diagrama de control	122
Tabla 19 Ventas versus costos por demora en la entrega	124
Tabla 20 Calculo por perdida por demora	124
Tabla 21 Calculo de costo por demora HH	125
Tabla 22 Calculo de costo por día en planta.....	126
Tabla 23 Calculo de costo de planta por demora HP	126
Tabla 24 Determinación del problema	128
Tabla 25 Registro de causas brindadas por la empresa	128
Tabla 26 Resultado de compilación sub causa 2 y causa raíz	129
Tabla 27 Identificación de la causa raíz	129
Tabla 28 Compilado de las causas de primer nivel	130
Tabla 29 Identificación de la causa de primer nivel según base de datos	130
Tabla 30 Indicadores actuales.....	141
Tabla 31 Relación de Problema y Solución.....	143
Tabla 32 Selección de metodología.....	146

Tabla 33 Criterio de acuerdo con la importancia de relación.....	147
Tabla 34 Peso de la relación entre metodologías	147
Tabla 35 Análisis de AHP	149
Tabla 36 Selección de metodología.....	150
Tabla 37 Selección de herramientas de Lean Manufacturing.....	151
Tabla 38 Análisis de los tiempos por actividad del proceso (2017–2018).....	161
Tabla 39 Estadísticas del diagrama de control	163
Tabla 40 Análisis de Colas	170
Tabla 41 Inicio del desarrollo del balance de línea	179
Tabla 42 Algoritmo de operarios en Excel.....	180
Tabla 43 Algoritmo de los tiempos en Excel	181
Tabla 44 Balance de línea.....	182
Tabla 45 Análisis de colas para la propuesta de mejora.....	185
Tabla 46 Nueva distribución de operarios	189
Tabla 47 Distribución de equipos con Heijunka	192
Tabla 48 Estandarización – Propuesta de Mejora	196
Tabla 49 Inversión por capacitación.....	198
Tabla 50 Indicadores Actual vs. Mejora.....	201
Tabla 51 Inversión.....	202
Tabla 52 Ahorros	203
Tabla 53 Distribuciones de las actividades del proceso actual y de mejora.....	205
Tabla 54 Comparación de resultados (calculó vs simulación)	210
Tabla 55 Cálculo del índice de costo de oportunidad.....	212
Tabla 56 Inversión y ahorros de la propuesta de mejora.....	213
Tabla 57 Escenario: Esperado	214
Tabla 58 Escenario Pesimista: Suposición de la TIR = 11.79%	215
Tabla 59 Escenario Pesimista.....	215
Tabla 60 Escenario Optimista: Suposición de la TIR > 28.62%	216
Tabla 61 Escenario Optimista	216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice y variaciones interanuales 2016 – 2018	3
Figura 2. Contribución a la variación de la producción nacional	4
Figura 3. Las cuatro etapas de la gestión por procesos.	11
Figura 4. Descripción de herramientas y técnicas con la gestión de proyectos.....	15
Figura 5. Producción no continúa VS. Flujo continuo	23
Figura 6. Mapa de empatía	26
Figura 7. Diagrama de flujo de valor (VSM)	27
Figura 8. Diagrama de Spaguetti	28
Figura 9. Muestra de árbol jerárquico	29
Figura 10. Adaptación de la Casa Toyota.....	31
Figura 11. Flujograma del proceso	42
Figura 12. Indicadores para la realización del MPV	47
Figura 13. Escala de valoración para la presencia de mudas.....	49
Figura 14. Mapa Flujo de Valor del Taller 3.....	50
Figura 15. Resultados de análisis de mudas en Taller 3	51
Figura 16. Ecuaciones de cálculo de producción, productividad y eficiencia.....	54
Figura 17. Flujo de proceso de toma corrientes conmutadas	55
Figura 18. Tiempo de ciclo estándar en cada estación	58
Figura 19. Flujo de proceso de mejora en el montaje.....	59
Figura 20. Diagramas precedentes del proceso de ventiladores domésticos	75
Figura 21. Modelo de línea de montaje con el software proModel	76
Figura 22. Fórmula de índice de uniformidad de la línea producción.....	76
Figura 23. Modelo de línea de montaje con alternativa 1 y alternativa 2.....	77
Figura 24. Modelo de línea de montaje de la alternativa 3.....	77
Figura 25. Diagrama de espina de pescado	81
Figura 26. Diseño actual	82
Figura 27. Mapeo de flujo de valor real	83
Figura 28. Disposición propuesta	84
Figura 29. Mapeo de flujo de valor final	84
Figura 30. Organigrama de la Empresa	89
Figura 31. Cadena de Valor.....	94
Figura 32. Tipos de clientes para la renta de equipos.....	95

Figura 33. Mapa de procesos generales.....	96
Figura 34. Mapa de procesos específicos - Reparación de maquinaria pesada.....	97
Figura 35. Proceso de reparación de maquinaria pesada.....	100
Figura 36. Diagrama de actividades del proceso de reparación de equipos	102
Figura 37. Cargador Frontal	104
Figura 38. Excavadora hidráulica.....	105
Figura 39. Tractor de orugas.....	106
Figura 40. Volquete	106
Figura 41. Rotación por modelo en taller	108
Figura 42. Rotación por modelo en el taller acumulado (2017-2018).....	109
Figura 43. Promedio de contratos mensual por modelo	110
Figura 44. Promedio de contrato por mes de cada modelo (2017-2018)	111
Figura 45. Mantenimientos preventivos y correctivos (2017-2018)	112
Figura 46. Ventas – Costos 2017-2018	114
Figura 47. T.R.A.M vs T.S.A.C	116
Figura 48. El total de días para cada actividad del proceso (2017-2018).....	117
Figura 49. La frecuencia de equipos entregados con demora.....	118
Figura 50. Análisis de colas.....	119
Figura 51. Gráfico de colas en el proceso de reparación.....	120
Figura 52. VSM Actual	121
Figura 53. Diagrama de control del proceso de reparación	123
Figura 54. Ventas vs. Costos por demora.....	127
Figura 55. Causas de primer nivel	131
Figura 56. Deficiencia en las actividades	132
Figura 57. Deficiencia en las actividades de reparación	133
Figura 58. Deficiencia en la reparación de volquetes.....	135
Figura 59. Deficiencia en la reparación de tractor de orugas	136
Figura 60. Identificación de las causas raíz	138
Figura 61. Árbol de problemas	139
Figura 62. Relación Problema – Solución	140
Figura 63. Relación de problema y solución	144
Figura 64. Selección de criterios	145
Figura 65. Selección de herramientas de Lean Manufacturing de forma visual	152

Figura 66. Diseño de la propuesta de mejora	153
Figura 67. Organigrama de Lean Manufacturing	155
Figura 68. Diferencia de días entre T.R.AM vs T.S.A.C	157
Figura 69. Frecuencia de los equipos con demora y sin demora (2017–2018)	159
Figura 70. Diagrama de control del proceso de reparación	162
Figura 71. Ventas vs. Costos	164
Figura 72. VSM Actual	166
Figura 73. Ingreso de los equipos y tiempo de servicio	167
Figura 74. Análisis de la situación actual – VSM	171
Figura 75. Diagrama de flujo del proceso actual	173
Figura 76. Identificación de colas.....	175
Figura 77. Proceso Actual de Reparación	176
Figura 78. Actividad de reparación de equipos	177
Figura 79. Desnivelación de tiempos y operarios por actividad.....	178
Figura 80. DAP de la propuesta de mejora.....	183
Figura 81. Datos para el análisis de colas del proceso de mejora	184
Figura 82. Propuesta de mejora – VSM	187
Figura 83. Distribución de mecánicos	190
Figura 84. Servicios de reparación por modelo	191
Figura 85. Proceso de Mejora, estandarizado.....	194
Figura 86. DAP de la propuesta de mejora.....	195
Figura 87. Control de tiempos	199
Figura 88. GANTT	200
Figura 89. Tamaño de muestra para la cantidad de replicas.....	206
Figura 90. Modelo en Arena del proceso actual.....	207
Figura 91. Modelo en Arena del proceso de mejora.....	208
Figura 92. Resultados de la ejecución de las simulaciones en el actual y en la mejora	209

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es común escuchar que todas las empresas están en una constante búsqueda por hacer sus procesos más eficientes. La búsqueda de esta mejora nace en la necesidad de adquirir ventajas competitivas, que pongan a la empresa en mejores condiciones que la competencia.

La importancia de la mejora continua para un proceso que requiere de minimizar los tiempos de reparación es extremadamente alta. Si una empresa carece del buen planeamiento de la producción, inevitablemente va a ocasionar muchas pérdidas por motivos de incumplimientos de entrega.

Por lo mencionado anteriormente se debe poner énfasis en eliminar el desperdicio que existe en los procesos. Básicamente lean manufacturing como propuesta tiene la función reducir los tiempos de entrega de reparación de equipos desde la identificación de cuello de botella como mudas.

El proyecto propone el balance de línea para el equilibrar la cantidad del personal operativo y Heijunka para la nivelación de la producción para equilibrar el ingreso y salida de equipos, esta mejora de proceso se encargará de proveer los equipos reparados en sus tiempos programados.

Por último, se necesita tener el proceso estandarizado y que las etapas de implementación regresen a su estado inicial permitiendo seguir mejorando el proceso.

2 CAPITULO 1. MARCO TEORICO

En el primer capítulo del proyecto se desarrollará los antecedentes del rubro de arrendamiento de maquinaria pesada, se plasmará el marco normativo, y se afianzara las bases de la metodología Lean Manufacturing, indicadores y las herramientas que lo soportan. Se proyectará los casos de estudio con el objetivo de direccionar y lograr un mejor entendimiento del proyecto de materia de estudio “Propuesta de mejora del proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento aplicando Lean Manufacturing en una empresa de renta de maquinaria para construcción y minería”

2.1 Antecedentes del mercado

El arrendamiento de equipo pesado tiene un rol estratégico para el desarrollo de la economía nacional, ya que la reactivación de sectores claves de la economía nacional ha retomado el dinamismo del mercado de alquiler de maquinaria pesada. El sector que abarca más solicitud de requerimiento de dichos servicios de alquiler es la minería, por el repunte del precio de los metales. Además, la recuperación del sector de la construcción ha incrementado las ventas y alquiler de maquinaria pesada como excavadoras, tractores orugas, motoniveladoras, rodillos compactadores y cargadores frontales (Garrido, Maquinaria pesada: ¿cuáles son los equipos más pedidos?, 2018).

Debido a los elevados gastos de repuestos, mantenimiento y la propia depreciación en el correr del tiempo, los sectores de la minería y construcción no están dispuestos absorber dichos costos, por eso buscan compañías que brinden el servicio de alquiler de forma tercerizada. La demanda proviene principalmente del rubro minero en un 50% de contratantes de servicios tercerizados y el 30% del retail y 20% de la construcción (Lira Segura, 2018).

La economía peruana en abril del 2018 excedió todos los pronósticos así lo reafirma el instituto nacional de estadística e informática (INEI) reporto que el PBI nacional creció 7,81% durante el cuarto mes del año 2018. Los cuatro sectores que anotaron expansión fue sector construcción en 10,55%, minería e hidrocarburos 0,72% y la producción agropecuaria en 11,04%. (Garrido, PBI peruano crece en abril a su mejor ritmo en cinco años, 2018).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (2018) indica los siguientes índices de variaciones de crecimientos:

Muestra el índice de la producción de servicios prestados a empresas que registró un aumento de 3,59%, determinado por el avance de las actividades profesionales científicas y técnicas, actividades de servicios administrativos y de apoyo, alquiler y arrendamiento operativo de maquinarias, equipos y vehículos, agencias de viajes y operadores turísticos y publicidad e investigación de mercados.

De la figura 1, se puede evidenciar que la evolución de variación porcentual interanual se incrementa desde el año 2016 de 3.00 % hasta el 3.59% del año 2018 existiendo una diferencia de 0.59 % en el incremento de la variación. Además, el índice de la producción de servicios prestados a empresas se incrementa del año 2016 de 130 a 300 en el año 2018. Ello quiere decir que generalmente el rubro de empresas que prestan servicios está en crecimiento.

Figura 1. Índice y variaciones interanuales 2016 – 2018

Adaptado de “Informe técnico n°06. 1-58”, por Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI, 2018.

En base lo anterior mencionado la variación registrada en abril 2018 de 3,59% fue resultado del avance de actividades profesionales como científicas y técnicas en 2,77% que se sumó al total 1,38% puntos porcentuales, actividades de servicios administrativos y de apoyo en 3,50% con un aporte de 1,33% puntos porcentuales, agencias de viajes y

operadores turísticos en 8.29% que le agrego 0,45% puntos porcentuales al total y publicidad e investigación de mercados en 6,46% sumando 0,43% puntos porcentuales al total.

Las actividades que destacaron fueron arquitectura e ingeniería, publicidad e investigación de mercados, alquiler y arrendamiento operativo de maquinarias, equipos y vehículos, actividades de centrales telefónicas, agencias de viajes y operadores turísticos, consultoría de gestión empresarial, actividades jurídicas y de contabilidad, servicios de limpieza y actividades de seguridad e investigación.

Figura 2. Contribución a la variación de la producción nacional

Adaptado de “Informe técnico nº06. 1-58”, por Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI, 2018.

La figura 2 indica el crecimiento de la actividad productiva enero - abril 2018 fue de 4,40% se sustentó en la contribución del sector construcción 0,34 puntos, minería e hidrocarburos 0,09 puntos, servicios prestados a empresas 0,12 puntos, y otros servicios 0,28 puntos es el entorno donde se desenvuelve la empresa que brinda sus servicios.

Se puede concluir que el arrendamiento de maquinaria pesada tendrá una tendencia de crecimiento en diversos sectores. Es un sector de servicios que se integra, ya que genera un porcentaje de ingreso al país, además, durante los últimos tres años, la demanda del sector ha estado tomando una tendencia de crecimiento.

Ante la situación del sector actual de arrendamiento de equipo pesado es recomendable que se realicen estudios de investigación aplicativos para identificar los beneficios económicos que se tendría por la creciente demanda de los últimos tres años, ya que este sector industrial de arrendamiento cuenta con contribuciones económicas de crecimiento nacional (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, 2018).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Gestión de mantenimiento

Según Fernández, M., Shkiliova, L. y Lora, D. (2015), mencionan que el perfeccionamiento de la estructura organizativa de la red de talleres de maquinaria pesada ve con futuro el desarrollo y modernización del mejoramiento con la gestión del mantenimiento. Paralelamente con esta tarea, se iniciaron también los trabajos para la creación y/o adecuación, para nuestras condiciones, de la documentación técnico-normativa para asegurar el funcionamiento del Sistema Preventivo Planificado de Mantenimientos y Reparaciones y sobre la cual se sustentaría la gestión de los mantenimientos y reparaciones en los talleres. Surgen así las primeras circulares técnicas, dirigidas al establecimiento de las bases regulatorias para la organización de los diferentes puestos de trabajo en los talleres, como las salas de maquinado, pañoles, parqueos y almacenes de piezas de repuesto, y las relacionadas con los mecanismos para la recepción y entrega de los equipos para su reparación. (p.53)

2.2.2 Tipo de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento se pueden diferenciarse los siguientes tipos de mantenimientos:

2.2.2.1 Mantenimiento preventivo

Consiste en efectuar determinadas revisiones a los elementos de una instalación, con independencia de que hayan averiado o funcionen correctamente. La revisión periódica de una instalación tiene dos ventajas claras: Permite minimizar el número y consecuencias de

las averías, al vigilar el estado de los elementos que la constituyen y posibilitar la reparación o la reposición programadas. Además, permite alargar la vida útil de la instalación o al menos evitar la degradación imprevista. Pero tiene un costo, aunque no hay que olvidar que una parte del trabajo debe realizarse por imperativo legal. En última instancia, el gasto asumible por este concepto dependerá de criterios de gestión, importancia de una avería, proximidad a una remodelación de la instalación, duración prevista del negocio al que sirve, dinero disponible, etc.

Liao, Chen, y Yang (2017) enlaza la planificación de la producción y el mantenimiento preventivo para convertirlo en una importante fabricación inteligente. Propone un enfoque de optimización para máquinas paralelas que permite tomar decisiones para encontrar una solución de compromiso entre la programación de producción y la planificación de mantenimiento, minimizando tanto el tiempo máximo de terminación como el costo total de mantenimiento. A través de la construcción de modelo de optimización, una programación algorítmica mejorada está desarrollada para buscar una solución óptima para planificar el procesamiento del trabajo y la operación de mantenimiento. (p.914)

En la actualidad vivimos en la cuarta revolución industrial, llamada Industry 4.0, donde los sistemas ciber físicos (CPS), Internet of Things (IoT), Cloud Computing (CC) e Artificial Intelligence (AI) se están integrando para la fabricación avanzada. Muchos sistemas de producción, los procesos de fabricación y su estado, equipo y herramientas necesitan ser monitoreados todo el tiempo. A medida que el equipo comienza a fallar, provoca paradas en el proceso de fabricación que no son eficientes. El monitoreo de los sistemas de fabricación para el mantenimiento ayuda a identificar las condiciones del equipo y las fallas antes de que los equipos se frenen. El análisis inteligente de datos históricos y el conocimiento del dominio específico pueden mejorar las decisiones sobre el mantenimiento predictivo. (Varoneckas, Mackutė-Varoneckienė, y Krilavičius, 2017, p.68)

2.2.2.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es la estrategia de mantenimiento convencional que aparece en muchas industrias. Se ha empleado en operaciones de mantenimiento debido a la escasez de conocimientos sobre los comportamientos de falla del equipo. El mantenimiento correctivo se puede llevar a cabo inmediatamente o diferido por los técnicos de

mantenimiento apropiados que se contratan para evaluar la situación y reparar las reparaciones. En situaciones donde la falla no es crítica (es decir, hay mucho tiempo de inactividad disponible) y los valores de los activos no son una gran preocupación, el modo de mantenimiento correctivo puede resultar una opción aceptable. Sin embargo, la competencia del mercado, los problemas ambientales y de seguridad obligan a los gerentes de mantenimiento a buscar estrategias de mantenimiento más eficientes además del mantenimiento correctivo. (Mostafa, Dumrak, y Soltan, 2015, p.436)

2.2.3 Gestión de procesos

2.2.3.1 Definición de procesos

La gestión por procesos es uno de los conceptos modernos de direccionamiento, que ha resultado como apoyo a la necesidad que tienen las organizaciones de encaminar sus esfuerzos en la construcción de una nueva estructura administrativa Hernandez Palma, Martinez Sierra, y Cardona Arbelaez (2015) menciona:

El modelo de gestión basado en procesos se fundamenta en el cumplimiento de la misión de las organizaciones, direccionando las actividades necesarias, hacia la satisfacción del cliente, proveedores, personal, accionista y sociedad en general. Implantar este tipo de modelo, no solo exige una nueva visión de los procesos, sino que además motiva la generación de valores agregados, para cada una de las variantes que intervienen en todo el modelo. Esta nueva tendencia es lo que diferencia la gestión por procesos de todos los esquemas organizacionales antes conocidos. (p.143)

Básicamente se deriva del latín processus, que significa progreso, avance o adelanto. Bajo estas nuevas orientaciones, los procesos se definen como las diversas actividades que se requieren para generar un resultado, dichas actividades se alimentan de varios componentes (proveedores, insumos, servicios, etc.) que agregan valor al resultado final. (Hernández, Martínez, Cardona, 2015, p.143)

También Ruiz Fuentes, Almaguer Torres, Torres Torres, y Hernández Peña (2013) define:

Gestión por procesos puede ser conceptualizada como la forma de gestionar toda la organización basándose en los procesos, siendo definidos estos como una secuencia de actividades orientadas a generar un valor añadido sobre una entrada para conseguir un resultado, y una salida que satisfaga los requerimientos del cliente.

2.2.3.2 Objetivos de la gestión por procesos

Dado que la gestión enfocada a procesos permite repensar las organizaciones y reorganizar los diferentes subprocesos que la integran, para a través de la mejora continua, permitir nuevas definiciones, controles, seguimientos y formas de operación, se han definido unos objetivos esenciales en esta gestión, Hernandez Palma, Martínez Sierra, y Cardona Arbelaez, (2015) menciona lo siguiente objetivos:

- Conocer las organizaciones de forma sistémica y desarrollar una visión horizontal de la misma.
- Favorecer la interacción de equipos de trabajo, para el intercambio de información y la gestión oportuna de soluciones.
- Hacer partícipe al recurso humano de todo el modelo, con un mayor sentido del compromiso, en cada uno de los procesos que adelante; indistintamente de su posición jerárquica. (p.143)

2.2.3.3 Mapa de procesos

Un proceso es una ordenación específica de las actividades de trabajo en el tiempo y en el espacio con un comienzo y un final, con input (entradas) y outputs (salidas) claramente identificados, definiendo así una estructura para acción. El proceso es visto como un grupo de tareas interconectadas lógicamente que utiliza los recursos de la organización para generar los resultados definidos, para apoyar sus objetivos. (Bonfatti Júnior, Lengowsk, y Ludka Júnior, 2018, p. 85).

En este sentido el mapeo de procesos es una herramienta extremadamente reconocida por el importante papel que puede desempeñar, pues auxilia en la evaluación de desempeño y

en el entendimiento de las dimensiones estructurales del flujo de trabajo, subsidiando programas de proyecto de las actividades. Mapear ayuda a identificar fuentes de desperdicio, proporcionando un lenguaje común para el tratamiento de los procesos de manufactura y servicios, haciendo las decisiones de flujo visibles. Permite debatirlas, agregando conceptos y técnicas secas, formando la base para un plan de implementación y que muestra la relación entre flujo de información y el flujo de materiales, además de delegar responsabilidades y promover el uso adecuado de los recursos disponibles. (Bonfatti Júnior, Lengowsk, y Ludka Júnior, 2018, p. 85).

La orientación del flujo también es un beneficio importante proporcionado por el mapeo del proceso, pues permite transformar un simple layout de máquinas en una serie de procesos de una fábrica, a fin de reducir distancias entre operaciones, mejorar el aprovechamiento del espacio y disminución en el tiempo de producción.

La asignación del proceso se empleó para representar los procesos correlacionados. De acuerdo con el procedimiento para realizar el mapeo de proceso sigue, normalmente Bonfatti Júnior, Lengowsk, y Ludka Júnior (2018), menciona los siguientes pasos:

- Definición de las fronteras y de los clientes del proceso, de los principales inputs y outputs (SIPOC) y de los actores involucrados en el flujo de trabajo.
- Consulta con los responsables de las diversas actividades dentro del proceso y estudio de los documentos disponibles, a fin de recoger informaciones suficientes para la reproducción del proceso en el mapeo.
- Creación del mapa del expediente sobre la base de la información adquirida y revisión paso a paso del mapeo.

Un diseño bien alineado con el proceso puede reducir los costos de producción, almacenamiento de materiales y el transporte a lo largo de los procesos productivos. Algunos propósitos de diseño de instalación orientan que éstos deben estar vinculados a estrategias de operación, teniendo como precedencias, bajos costos, calidad en los productos y servicios, entregas de menor plazo y entregas en el período cierto, flexibilidad en el volumen y productos.

El mapeo de procesos como herramientas gerenciales posibilita la visualización de los procesos relacionados con la producción de cualquier empresa, desde la escala macro hasta la más detallada, así como la relación entre las actividades involucradas.

2.2.3.4 Clasificación de los procesos

Entre los tipos de procesos, Ruiz Fuentes, Almaguer Torres, Torres Torres, y Hernández Peña (2013) destacan los siguientes:

- **Estratégicos:** procesos destinados a definir y controlar las metas de la empresa, sus políticas y estrategias. Estos son gestionados directamente por la alta dirección en conjunto.
- **Operativos (esenciales o claves):** procesos destinados a llevar a cabo las acciones que permiten desarrollar las políticas y estrategias definidas para la empresa para dar servicio a los clientes. De estos se encargan los directores funcionales, que deben contar con la cooperación de los otros directores y de sus equipos humanos.
- **De apoyo:** procesos no directamente ligados a las acciones de desarrollo de las políticas, pero cuyo rendimiento influye directamente en el nivel de los procesos operativos.

2.2.3.5 Etapas en la gestión por procesos

La metodología aplicada en la investigación está formada por cuatro etapas interrelacionadas entre sí, las cuales Villa González Del Pino, Pons Murguía, y Bermúdez Villa (2013) se refieren a: identificación, caracterización, evaluación y mejoramiento de los procesos.

Figura 3. Las cuatro etapas de la gestión por procesos.

Adaptado de “Metodología para la gestión del proceso de investigación de un programa universitario”, por Villa González Del Pino, Pons Murguía, y Bermúdez Villa, 2013.

2.2.3.6 La mejora de los procesos

Para llevar a cabo la mejora de dichos procesos es necesario seguir una serie de pasos, estos se pueden encontrar en el clásico ciclo de mejora continua de Deming, o ciclo PDCA. Considera Ruiz Fuentes, Almaguer Torres, Torres Torres, y Hernández Peña (2013) cuatro grandes pasos para establecer la mejora continua de los procesos: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

Con la importancia que ha adquirido en la actualidad la gestión por procesos para alcanzar la calidad y el éxito sostenido, son varios los modelos, métodos o procedimientos que se han difundido por el mundo y que tienen popularidad en el ámbito empresarial. Estos son modelos de calidad, y que hacen énfasis en el enfoque de procesos. Los más reconocidos son:

- Método PDCA de Deming.
- Método REDER.
- Modelo EFQM de Excelencia.
- Cuadro de Mando Integral.
- Método Sistemático o Científico de Mejora de Procesos.

2.2.3.7 Aspectos básicos de la metodología para la gestión por procesos

La aplicación adecuada de dicha metodología exige la observancia de las tres condiciones básicas siguientes: Se requiere el empleo de recursos y técnicas que faciliten la recopilación y el análisis de los datos sobre toda actividad, para identificar las áreas problemáticas que merecen un tratamiento diferenciado. (Villa González Del Pino, Pons Murguía, y Bermúdez Villa, 2013, p. 69)

En la tabla 1 se hace referencia a los aspectos básicos que la componen y a las principales técnicas e instrumentos empleados.

Tabla 1
Aspectos básicos de las metodologías para la gestión por procesos.

ETAPAS	ACTIVIDAD	PREGUNTA CLAVE	HERRAMIENTAS
1 Identificar el proceso	1) Definición de los procesos organizacionales.	¿Qué procesos sustentan el cumplimiento del propósito estratégico?	Trabajo de grupo, Consulta a expertos, Reuniones participativas, Documentación descriptiva del proceso (descripción del proceso/ Mapa general)
	2) Selección de los procesos claves.	¿Cuáles de ellos necesitan salidas directas a los clientes?	
2 Caracterizar el proceso	1) Descripción del contexto.	¿Cuál es la naturaleza del proceso?	Documentación descriptiva del proceso, Datos históricos, Reuniones participativas, Trabajo de grupo.
	2) Definición del alcance.	¿Para qué sirve?	Discusión de grupos (involucrados en el proceso), Documentación del proceso.
	3) Determinación de requisitos.	¿Cuáles son los requisitos? (Clientes, proveedores, etc.)	Reuniones participativas, Documentación de proceso, Mapeos de procesos (SIPOC).
3 Evaluar el proceso	1) Análisis de la situación.	¿Cómo está funcionando actualmente el proceso?	Mapeo de procesos, Hojas de verificación, Histogramas, Documentación del proceso, Encuestas.
	2) Identificación de problemas.	¿Cuáles son los principales problemas del proceso?	Diagramas de Pareto, Diagramas y Matrices Causa-Efecto, Estratificación, Gráficos de Control, 5W y 1H, Documentación de procesos, Encuestas.
	3) Levantamiento de soluciones.	¿Dónde y cómo puede ser mejorado el proceso?	Brainstorming, GUT, Técnicas de grupos nominales, Votación grupal, Documentación de procesos.
4 Mejorar el proceso	1) Elaboración del proyecto.	¿Cómo se organiza el trabajo de mejora?	Ciclo PHVA, 5W y 1H, Documentación de procesos, Técnicas de presentación asertiva de proyectos.
	2) Implantación del cambio.	¿Cómo se hace efectivo el rediseño del proceso?	Hoja de verificación, Histograma, Diagrama de Pareto, Gráficos de Control, 5W y 1H, Diagrama de causa-efecto, Documentación del proceso.
	3) Monitoreo de resultados.	¿Funciona el proceso de acuerdo con los patrones?	Ciclo PHVA, Matriz causa-efecto, GUT, FMEA, Reuniones participativas, Metodología de solución de problemas, Documentación de proceso.

Adaptado de “Metodología para la gestión del proceso de investigación de un programa universitario”, por Villa González Del Pino, Pons Murguía, y Bermúdez Villa, 2013.

2.2.4 ISO 9001-2015

La gestión de la calidad como un campo de gestión es importante en investigación sobre diferentes aspectos y teorías, datos empíricos del campo y elaboraciones teóricas. Para una disciplina relativamente joven, algunos de sus aspectos básicos están bien definidos y establecidos a través de estándares de gestión internacional bien conocidos y ampliamente utilizados, como ISO 9001. El ISO 9001 se implementa en diferentes tipos de organizaciones en todo el mundo. Thor Ingason (2014) analiza el número total de certificados ISO 9001 emitidos y países en el mundo en el período 1993-2010. Esto ha crecido de más de 46 mil certificados en 60 países en 1993 a 1,1 millones de certificados en 178 países en 2010.

La literatura de gestión de la calidad reconoce dos tipos importantes de intervenciones. Las intervenciones incrementales generalmente se asocian con un cambio gradual en el espíritu de mejora continua. La filosofía de mejora continua tiene como objetivo desarrollar las competencias y capacidades de aprendizaje de las empresas y que surge del enfoque gradual de mejora. Las intervenciones innovadoras, por otro lado, se caracterizan por cambios radicales, avanzan en nuevas direcciones y adoptan el modo de "desechar y reconstruir". (Castka y Balzarova, 2016, p. 2)

Se identificaron dos etapas en la implementación de la ISO 9000, primera instalación, que tiene dos dimensiones: (a) coordinación externa y (b) integración. Segundo uso, que también tiene dos dimensiones: (a) en la práctica diaria y (b) como catalizador para el cambio. La instalación consiste en el desarrollo y la preparación del concepto. Es tanto el intento de establecer el estándar de gestión en el lugar y la forma de planificación que se produce antes de que se utilice el estándar. Incluye la introducción del estándar, el establecimiento de un sistema para llevarlo a cabo y el desarrollo de las reglas sobre cómo se aplicará. (Thor Ingason, 2014, p.194)

Las etapas también se pueden dar en 7 fases, Castka y Balzarova (2016) afirma:

El proceso de la participación de una empresa con la norma ISO 9001 avanza a través de varias etapas: (i) decisión de adoptar; (ii) diseño y adopción; (iii) despliegue; (iv) certificación inicial; (v) mantenimiento del sistema certificado; (vi) recertificación y (vii)

terminación de la participación de una empresa con la certificación (si es necesario). La decisión de adoptar es una decisión de la junta o un administrador de instalaciones / operaciones que impulsa dicha decisión en una empresa.

En la revisión sistemática de la literatura en tres etapas se concentraron en tres aspectos clave de la implementación de ISO 9000; motivaciones, factores críticos de éxito e impactos de ISO 9000. Su hallazgo se basa en 100 estudios. Propone un marco de realización de desempeño de tres partes para implementar ISO 9000; conversión, mejora y la etapa de prioridad competitiva. La primera etapa tiene como objetivo construir una base para operar sistemas, procesos y cultura basados en la calidad. El principal resultado de la etapa de conversión son los sistemas mejorados, los procesos estandarizados y el entorno de aprendizaje y comunicación. Durante la etapa de conversión, la gerencia debe enfocarse en temas tales como liderazgo, capacitación, participación de todos, provisión de recursos organizacionales, establecimiento de una cultura orientada a la calidad y un enfoque basado en el cliente. (Thor Ingason, 2014, p. 194)

La investigación confirmó que inicialmente la principal motivación para implementar sistemas ISO es diferente de los principales beneficios de su implementación. Los argumentos de motivación suelen ser de naturaleza comercial y de ventas, mientras que los principales beneficios experimentados después de la implementación tienen que ver con la gestión, por ejemplo, la eficiencia operativa. El autor descubrió que los elementos ISO 9001 que se relacionan con un sistema de calidad organizacional como acciones correctivas y preventivas, control de diseño, responsabilidad de gestión, técnicas estadísticas, control de procesos y control de documentos y datos y sistemas de calidad son difíciles de implementar, en comparación con los elementos relacionados con el funcionamiento procedimientos. (Thor Ingason, 2014, p. 194)

Ejemplos de barreras importantes para la implementación de ISO 9001 son falta de compromiso de la alta dirección, resistencia de los empleados, dificultad para realizar auditorías internas, ausencia de juntas de consultoría, requisitos ISO 9001 no son realistas, falta de recursos financieros y humanos, capacitación insuficiente de los empleados y conocimiento insuficiente sobre programas de calidad.

En la investigación el autor muestra las incidencias que suscitaron en una implementación, como factores y herramientas que se usaron.

Algunos factores comunes que contribuyen a una implementación exitosa se pueden encontrar en muchas organizaciones. A los participantes se les preguntó específicamente en qué medida se había aplicado la planificación del proyecto en la implementación. El 29% dijo que la implementación se llevó a cabo siguiendo un plan inicial. Otro 29% declaró que la implementación se llevó a cabo siguiendo un plan inicial que tuvo que ser cambiado con frecuencia. Sin embargo, el 33% de los participantes afirmó que la implementación se llevó a cabo mediante el uso de comunicación continua y regular entre las partes pertinentes; no hubo un plan formal. En el 10% de los casos, la implementación estuvo principalmente en manos de una persona, a saber, el gerente de calidad. (Thor Ingason, 2014, pág. 196)

Figura 4. Descripción de herramientas y técnicas con la gestión de proyectos

Adaptado de “Best Project Management Practices in the Implementation of ISO 9001 Quality Management System”, por Thor Ingason, 2014.

2.2.5 Gestión de la calidad total (TQM)

TQM puede definirse como una filosofía de gestión voluntaria que se esfuerza por lograr una mejora continua en todas las funciones de una organización, y puede obtenerse en un único y excelente concepto de calidad utilizado desde la adquisición de recursos hasta el servicio al cliente después la venta. Tanto las empresas de fabricación como las de servicios pueden adoptar con éxito TQM. TQM adoptando las empresas obtienen una ventaja competitiva sobre las empresas que no adoptan la TQM. Las empresas que se centran en la mejora continua involucran y motivan a los empleados para lograr resultados

de calidad y se centran en satisfacer las necesidades de los clientes, tienen más probabilidades de superar a las empresas que no tienen este enfoque. (Valmohammadi y Roshanzamir, 2014, p. 9)

Al implementar el sistema de gestión de la calidad pueden aparecer una serie de problemas: cualquier actividad dirigida al desarrollo, dentro de la empresa, solo es efectiva si sus resultados incorporan actividad diaria, asegurando un nivel más alto, muy por encima de la actividad previa. En caso de que el resultado de la mejora no pueda ser introducido y aplicado en el trabajo diario, podemos decir que la actividad de mejora no ha alcanzado el objetivo. Encuentra, por un lado, que la organización no logró estimular una actividad propia de inversión favorable y, por otro lado, los procesos operativos no han registrado ningún progreso. Por lo tanto, seguimos enfrentando los mismos problemas que tenían antes. El objetivo de la implementación del sistema de gestión de la calidad es, a través del desarrollo continuo, ayudar a garantizar las funciones duales, a saber: la mejora continua de la actividad y la regulación del funcionamiento operativo diario. (AdrianaTisca, Cornu, Diaconu, y Dan Dumitrescu, 2015, p. 216).

Pasos de implementación del sistema de gestión de calidad, AdrianaTisca, Cornu, Diaconu, y Dan Dumitrescu (2015) menciona:

- Rendimiento del reportaje. Director General, incluido el desarrollo de propuestas para mejorar el sistema.
- Promover el personal de la organización según los requisitos del cliente.
- Comunicación con organizaciones externas (clientes, proveedores y partes interesadas).
- El desarrollo del Manual de Gestión de Calidad documenta la actividad de sistemas específicos.
- Gestión de documentos en calidad de gestión.
- Coordinar las actividades relacionadas con las auditorías internas del sistema de gestión.
- Capacitar al personal en gestión de calidad.
- Participación en sesiones de análisis.

- Garantizar que el sistema de gestión de calidad se establezca, implemente y mantenga.

TQM funciona e informa cualquier necesidad de mejora al Director General, dándoles la autoridad y las siguientes responsabilidades:

Después de designar a la gerencia de calidad representativa, establece una estructura firme. Nombra gerente responsable del proceso. Después de establecer el equipo, se redacta un plan de desarrollo de documentos. El Representante de Gestión de Calidad preparará el sistema de seis procedimientos: control de documentos, control de registros, control de productos no conformes, auditoría interna, acciones correctivas, acciones preventivas.

Zhou, Gu, y Zhao (2018) concluye mencionando que TQM tiene un efecto directo y positivo en la innovación. Además, cuanto más larga y profunda sea la implementación de TQM, más significativa será la promoción del rendimiento de la innovación. Sin embargo, los factores de recursos de TQM no tienen un efecto significativo en el rendimiento de la innovación, lo que indica que las empresas que implementan la estrategia TQM no necesitan preocuparse por el efecto y luego frenar la innovación.

2.2.6 Balance de línea

Orozco et al. (2016) menciona que el balance de líneas es un punto crítico en la productividad de la empresa, su objetivo es repartir de forma adecuada la carga o la capacidad, para luego mantener un flujo continuo y uniforme en el proceso dentro de la planta, buscando igualar los tiempos en las bahías de trabajo, para ampliar y aprovechar la mano de obra y del equipo, y con el objetivo de reducir el tiempo ocioso. Para que funcione el balance de línea se debe presentarse un escenario adecuado o idóneo como la cantidad, equilibrio y continuidad. El balance de línea presenta dos aspectos importantes que son la tasa de producción y la eficiencia, juntos logran la optimización del proceso.

Según el aporte de Coronado-Hernández y Mateus (2012) el balance de línea se define como una línea de ensamble, donde se constituye un grupo de bahías de trabajo que se encuentran enlazados para el desarrollo de tareas y operaciones en conjunto, para obtener productos o bienes con un tiempo optimo, una distribución acorde a la carga de trabajo sobre las bahías o estaciones.

2.2.7 Teoría de colas

Karen, Caballero, Alberto, y Medina (2015) menciona que la teoría de colas son las líneas de espera dentro del sistema. Esta teoría se enfoca en estudiar los tiempos de espera medio en las colas o la carga de trabajo del sistema sin llegar a saturarse. La teoría de colas abarca la investigación de operaciones y sirve como un complemento para la teoría de sistemas y la teoría de control. La teoría de colas sirve para varios procesos como negocios, comercio, industria, ingeniería, transporte, minería y logística. Con respecto a ingeniería, la teoría de colas sirve para modelar sistemas donde participan varios agentes con las demandas de servicio o prestaciones y, luego puedan reunirse en un mismo servidor con la idea de controlar desde la llegada al sistema hasta atender la demanda en el servidor.

Paredes (2016) la teoría de colas es una ciencia que está dentro de la investigación operativa, que tiene como propósito el análisis de escenarios donde tiene personas que generan demanda por ciertas prestaciones, de tal manera que dichas prestaciones no son atendidas en su momento, lo cual genera esperas.

2.2.8 Lean Manufacturing

2.2.8.1 Conceptos generales de Lean Manufacturing

Según Sarria Yépez, Fonseca Villamarín, y Bocanegra (2017) menciona que Lean manufacturing es un conglomerado de principios y herramientas de gestión de producción, y que el objetivo que busca es la mejora continua por medio de la reducción de desperdicios viendo este último como una actividad que no agrega valor.

Lean manufacturing se ha convertido en una opción por su variabilidad que ha ido demostrando con el tiempo en los diferentes sectores industriales. En un inicio, esta filosofía fue introducida después de la devastación de la segunda guerra mundial, en la cual los países como Japón y Alemania sufrían los estragos de la economía de la posguerra. En la década de 1980, Toyota Motor Corporation está enfocado en un modelo de trabajo de sistema productivo que la meta era la mejora de la productividad, eficiencia y elevar su competitividad, este modelo se afianzo luego de que Taiichi Ohno obtenga la

vicepresidencia de esta compañía cuando se realizó la implementación del sistema de producción.

Este sistema colocó las bases para que se establezca el esquema de producción JIT (justo a tiempo). Por ende, en la década de 1990, se publicó el libro *Machine that changed the world*. En este libro se plasma las bases de la filosofía Lean enfocada a la producción, por lo cual, este pensamiento en un inicio fue desarrollado por Womack con esta idea de desarrollo de proyectos.

Lugo y José (2015) manifiesta que Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo encaminada hacia las personas, que concreta con la mejora y optimización de un proceso productivo enfocándose en eliminar todo tipo de “desperdicios”, se concreta éstos como: que utilizan mayores recursos de lo necesario en los procesos. La meta es generar una cultura enlazando la comunicación y el trabajo en equipo, por lo cual es importante adecuar el método para cada caso en particular. La filosofía Lean siempre está buscando diferentes opciones para agilizar el proceso y que sea flexible en todo aspecto como la economía, finanzas, et.

Lean manufacturing enfoca sus ideas en los procesos que añaden valor, concretando que esto es la necesidad que busca el cliente, y que está dispuesto a pagar, y que es importante lo que solicita el cliente, es lo primero en que se enfocó un pensamiento Lean y la empresa es la que debe dar forma o crear ese valor haciendo entender al cliente que lo está pagando es el valor del producto y esto se da con un trabajo de comunicación con clientes puntuales, y a su vez deben trabajar en eliminar o disminuir los desperdicios que son actividades que no añaden valor al proceso.

Para afianzar el concepto Lean manufacturing se revisa las ideas Añaguari y Gisbert (2016) donde manifiesta que Lean manufacturing es una metodología que tiene como propósito eliminar los desperdicios e incrementar las actividades que añaden valor agregado según la visión del cliente, al producto o servicio final mediante una variedad de herramientas (TPM, 5S, SMED, kanban, kaizen, heijunka, jidoka, etc.), que fue proyectado en Japón, con la premisa de seguir los fundamentos de William Edwards Deming. Añaguari y Gisbert (2016) afirma:

Los pilares del lean manufacturing son: la filosofía de la mejora continua, el control total de la calidad total, la eliminación del despilfarro, el aprovechamiento de todo el potencial a

lo largo de la cadena de valor y la participación de los operarios. Está soportada en cinco principios básicos, que son: identificar y definir el valor (Value), identificar los flujos de valor (Value Stream), alinear las acciones de la organización con los flujos de valor (Flow), permitir que las necesidades y expectativas del cliente jalonen (Pull) y perseguir la perfección (Perfection). (p.23)

Algunos de sus objetivos son:

- Defectos o desperdicios: Eliminarlos o minimizarlos, así como eliminar cualquier característica innecesaria del producto que no sea requerida por el cliente. Eliminar el exceso de materias primas y costos asociados por reprocesos.
- Tiempos de ciclo: Reducir plazos de entrega y ciclos de tiempo de producción mediante la reducción de tiempos de espera, de reparación o de preparación.
- Niveles de inventario: Minimizar inventarios de materia prima, producto terminado y en todas las etapas de producción, especialmente los WIP (Trabajos en Proceso) entre las etapas de producción.
- Productividad laboral: Mejoramiento mediante la reducción de tiempo ocioso de los operarios. Asegurándose que su trabajo les produzca la satisfacción y beneficios que cumplan con sus expectativas en función de su involucración, resultados y participación en busca de la mejora continua.
- Utilización de equipos y de espacio: Usarlos de manera eficiente para eliminar cuellos de botella/restricciones. Maximizando el flujo y la velocidad de producción minimizando el tiempo de paro del equipo y maquinaria existente.
- Flexibilidad: Producir un rango y variedad más flexible de productos, con costos reducidos y tiempos mínimos de conversión. Empleando personal con polivalente, capacitado y entrenado continuamente; con capacidad para asumir responsabilidades conforme se le vaya cediendo autoridad y responsabilidad.
- Resultado: En la medida que se reduce el tiempo de ciclo, se incrementa la productividad laboral, se gestionan adecuadamente los cuellos de botella y restricciones. Lográndose costos de producción menores, uso más eficiente de la maquinaria y espacio. (Añaguari y Gisbert, 2016, p.24)

2.2.8.2 Tipos de desperdicios o despilfarros

Botero (2010) manifiesta que Taiichi Ohno expone que el despilfarro es todo lo que no agrega valor al producto final o que no apoya con la transformación directa al producto y esto es lo que la filosofía Lean está enfocado en eliminar. Según Jim Womack aclara que la manera relevante de reconocer el despilfarro es conocer el giro de negocio de la empresa y que le demanda valor. Es allí, donde se genera discrepancia de ideas debido a que se visualiza de arriba hacia abajo, cuando debe ser la inversa. Antes de entrar al detalle del tema, es importante como Taiichi Ohno clasificó al desperdicio en siete mudas:

- Muda por corrección, reparación del producto cuando no brinda las condiciones requeridas que solicita el cliente. Para evitar este tipo de muda, la regla de oro es “Los defectos deben ser analizados hasta su causa raíz para obtener una solución definitiva”.
- Muda de transporte, el desplazamiento del lugar a otro que no genera valor, por lo contrario, que te genera un movimiento innecesario debe ser analizado. La metodología Lean propone que los movimientos de logística sean lo más corto posible, porque generan gastos innecesarios como en la manipulación, transportes y energía.
- Muda de desplazamiento, los movimientos innecesarios por el personal de operación en el puesto de trabajo no crean ningún valor. Al contrario, generan dificultades y ocupan espacios. Esto se soluciona colocando los insumos, repuestos, etc. cerca del alcance de las manos del operario.
- Muda de espera, se produce cuando el operario no encuentra en su zona de trabajo los insumos, repuestos, etc. para agilizar el proceso de producción.
- Muda de stock, material no necesario que complica el flujo del proceso. Cuando el producto está terminado se lleva a al área de almacenaje, y de igual manera cuando la materia prima no fluye como se programó esto genera o no crea ningún valor. Por el contrario, el exceso de stocks genera una inversión adicional a la empresa.
- Muda por procesamiento, este desperdicio se genera por enfatizar mal el concepto del cliente, cuando hay fallas en la distribución de planta y maquinarias (layout), errores en los procedimientos de producción y error en el diseño de productos o

servicios. Para solucionar el concepto del cliente hay una regla de oro de Lean manufacturing “Entender las especificaciones del cliente”.

- Muda por sobreproducción, este despilfarro se genera al producir mayor cantidad de lo que la demanda solicita y a un ritmo acelerado. Por ello, la regla de oro de Lean manufacturing “Producir lo que él cliente necesita, cuando lo requiere y en la cantidad justa”. Para Ohno, esto es una de los despilfarros más críticos o importantes, porque de ahí se presentan los demás desperdicios.

Al final Jeffrey K. Liker en su libro Las claves del Éxito de Toyota, incrementa un octavo desperdicio que es:

- Muda por la creatividad no utilizada de los empleados, este desperdicio se presenta cuando las ideas del personal no son tomadas en cuenta y el personal no es motivado.

2.2.8.3 Principios del sistema Lean Manufacturing

Tejeda (2011) manifiesta que implementar Lean manufacturing no es solo poner en práctica algunas técnicas de mejora dentro del proceso. Es un cambio radical en el pensamiento de la empresa, desde el inicio del proceso como la materia prima hasta el término del proceso que el producto terminado. Hay cinco principios que sirven como guías para ir hacia la metodología Lean manufacturing, y las cuales son: definir el valor del producto, identificar el flujo del valor, generar que fluya el valor sin interrupciones, dejar que sea el cliente quien hale el producto, y perseguir la perfección.

Valor del producto, es lo que satisface las necesidades de los clientes, es lo que él cliente va a estar dispuesto a pagar. Por ello, es primordial entender la necesidad del cliente y en eso es lo que hace en primera instancia la metodología Lean manufacturing. El cliente tiene que entender que el producto ofrecido es el valor ofertado y eso se logra a través de conversaciones.

Identificar el flujo de valor, es revisar y analizar todo el proceso en tres niveles: desde el concepto de diseño e ingeniería hasta su lanzamiento, desde el flujo de información cuando

se recibe la orden de producción hasta que se despacha y desde el flujo físico de la materia prima hasta ser elaborado como un producto terminado en las manos del cliente.

Analizar el flujo de valor se proyecta a identificar tres tipos de acciones que están involucradas en el proceso. Hay actividades que generan o agregan valor, otras actividades que no agregan valor, pero dentro del proceso son necesarias y las que definitivamente no agregan valor y pueden ser eliminadas del proceso.

Toda actividad que no genera valor es considerada como despilfarro (muda). El propósito o meta de Lean manufacturing es eliminar todo tipo de desperdicio.

Generar que fluya el producto sin interrupciones, el material a procesar debe tener un flujo de producción al ritmo del takt time de manera continua en pequeñas cantidades de producción para lograr fabricar y mover una sola pieza a la vez sin reprocesos como se visualiza en la figura 5.

Figura 5. Producción no continúa VS. Flujo continuo

Adaptado “Mejoras de LEAN MANUFACTURING en los sistemas productivos”, por Tejeda (2011)

Sistema de halado o “pull”, consiste en el proceso debe trabajar bajo la consigna del tiempo que lo solicite el cliente o conforme va requiriendo la siguiente etapa del proceso.

Perfección, hay una consigna que siempre hay mejoras en los procesos, y lo cual conlleva a eliminar los desperdicios. El mejorar los resultados en el proceso hace que los costos se reduzcan y se perciba ganancias de acorde con el mercado.

2.2.8.4 Metas y beneficios de Lean Manufacturing

Soler (2015) comenta que la filosofía Lean manufacturing es un conglomerado de herramientas de trabajo, y que con un adecuado enfoque de la implementación se acerca a los siguientes objetivos o metas:

- Reducción drástica de la cadena de desperdicios.
- Reducción del inventario.
- Reducción de los espacios productivos.
- Creación de sistemas de producción más robustos.
- Generación de sistemas de entrega de materiales apropiados.
- Mejora las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad y optimizar el flujo de los materiales.

Logrando los beneficios que se mencionara a continuación:

- Reducción en costos de producción
- Reducción de inventarios
- Reducción del tiempo de entrega (lead time)
- Mejor Calidad
- Menos mano de obra
- Mayor eficiencia de equipo.
- Disminución de los desperdicios
- Eliminación de la sobreproducción
- Disminución de tiempo de espera (los retrasos)
- Organización del transporte y la logística, optimización de los movimientos

- Ordenación de los procesos

Si se enlaza con la metodología o filosofía Kaizen, se obtiene otros logros importantes como el bienestar del personal, crear personales polivalentes, con la capacidad de realizar tareas diferenciadas con agilidad, y el trabajo en equipo, cultura de innovación, personales proactivos, la condición laboral placentera, y la prolongación de las maquinarias con condiciones óptimas.

2.2.9 Metodología

2.2.9.1 Etapas de la implementación Lean Manufacturing en cinco etapas

Escaida, Jara, y Letzkus (2016) comenta que la investigación mantiene cinco etapas: constitución del panel de expertos, conocer las necesidades del cliente, identificar el flujo de valor, identificación de las mudas de producción y generación de una propuesta de mejora.

En la primera etapa, se compone por un grupo de expertos integrados por: Gerente de Logística, el Sub-Gerente de Producción, un Asistente de Prevención de Riesgos y un Consultor Interno Kaizen (Kaizen Promotion Office, KPO).

En la segunda etapa, es reconocer al cliente, con el objetivo de afianzar el valor que se va a asignar al proceso. Se tomó la herramienta de Lluvias o tormenta de ideas para reconocer al cliente y el Mapa de empatía para la comprensión del cliente, dando respuesta a las preguntas que propone este método: qué es lo que quiere el cliente, cómo lo quiere y cuándo lo quiere. En la figura 6 se visualiza que desea el cliente.

Figura 6. Mapa de empatía

Adaptado “Mejora de procesos productivos mediante LEAN MANUFACTURING”, por Escaida, Jara, y Letzkus (2016)

En la tercera etapa, considera identificar el flujo de valor, buscando dentro del proceso de producción que genera valor agregado. Por ende, se utiliza los siguientes instrumentos:

La observación de campo, recopilación de datos del proceso y layout. Se recopiló la data mediante lo siguiente:

- Bitácoras de registros
- Fichas de proceso
- Fichas de los equipos o maquinas
- Registros de los talleres (layout)

Construcción de diagrama de flujo de valor, mantiene los flujos de información y producción de la cadena de valor. Asimismo, determinan indicadores básicos, como los tiempos de ciclo, porcentaje de ocupación de equipos y mano de obra utilizada, lo que a la vez permite visualizar oportunidades de mejora. En la figura 7 se visualiza el VSM.

Figura 7. Diagrama de flujo de valor (VSM)

Adaptado “Mejora de procesos productivos mediante LEAN MANUFACTURING”, por Escaida, Jara, y Letzkus (2016)

Construcción de diagrama de Spaguetti, para visualizar los traslados de materia prima y productos semielaborados, se realiza el diagrama spaguetti, con el objetivo de entender los desplazamientos que se realizan en planta. En este diagrama se trazan líneas para visualizar (layout de la planta) como se siguen las rutas para confeccionar el producto. En la figura 8 se observa el diagrama de spaguetti.

Figura 8. Diagrama de Spaguetti

Adaptado “Mejora de procesos productivos mediante LEAN MANUFACTURING”, por Escaida, Jara, y Letzkus (2016)

En la cuarta etapa, se reconoce las mudas de producción. Para evaluar por qué o de qué manera se suscitan los problemas de mudas, se utiliza el Diagrama de Ishikawa. Mediante el Diagrama de Ishikawa también conocido con el Diagrama de causa y efecto se detectó las principales causas que afectan el proceso de la empresa.

Se analiza los desperdicios (mudas) segregando cual es la causa primaria y secundaria del proceso.

En la quinta etapa, se determina la propuesta de mejora que permite eliminar los desperdicios o mudas del proceso de producción.

2.2.10 Procesos de análisis jerárquico AHP

Group (2018) menciona que Saaty (1980) presentó una herramienta múltiple enfocada en los criterios cualitativos y cuantitativos basado en el comportamiento de la toma de decisiones. El modelo se llama proceso de jerarquía analítica (AHP) y su estructura enfocado en la parte jerárquica. Manifiesta las decisiones de compatibilidad e

incompatibilidad que determina el premio a tomar decisiones de criterio múltiples. El proceso de jerarquía analítica es considerado un sistema para tomar decisiones con criterio múltiple, debido a que el problema lo coge de forma jerárquica y crea una fusión de criterios cuantitativos y cualitativos. Por ende, el primer paso es la jerarquía del problema. El segundo paso es colocar un valor nominal a cada nivel jerárquico y para luego generar una matriz de entendimiento para comparar por pares. Para concretar el proceso jerárquico analítico (AHP) se sigue los siguientes pasos que se mencionara a continuación:

- En la primera etapa, el objetivo es que la toma de decisiones sea de forma jerárquica por ende se visualiza en la figura 9.

Figura 9. Muestra de árbol jerárquico

Adaptado “Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach”, por Group (2018)

- En la segunda etapa, se debe crear, preparar y distribuir un cuestionario a los involucrados como gerentes, expertos, usuarios, etc. para recopilar sus comentarios. En la tabla 2 se observa cómo se determina la escala de pares y el valor de importancia colocado a cada número.

Tabla 2
Puntuaciones por la importancia de la variable

Importance Scale	Definition of Importance Scale
1	Equally Important Preferred
2	Equally to Moderately Important Preferred
3	Moderately Important Preferred
4	Moderately to Strongly Important Preferred
5	Strongly Important Preferred
6	Strongly to Very Strongly Important Preferred
7	Very Strongly Important Preferred
8	Very Strongly to Extremely Important Preferred
9	Extremely Important Preferred

Adaptado “Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach”, por Group (2018)

2.2.11 Fundamentos teóricos de las herramientas Lean Manufacturing

Las herramientas de Lean Manufacturing se concretan en la práctica a través de la aplicación de una amplia gama de técnicas, muy diferentes entre sí, que han ido marcando con éxito cada empresa de diferentes rubros o giro de negocios, ya sea en empresas de pequeña (PYMES) o de gran envergadura.

Sarria Yépez, Fonseca Villamarín, y Bocanegra (2017) menciona que dentro de los fundamentos de las prácticas Lean es muy importante determinar la estructura del sistema de producción según la disposición de los pilares de Lean. Por ende, en la figura 10 se observa la adaptación de la CASA TOYOTA.

Figura 10. Adaptación de la Casa Toyota

Adaptado “Modelo metodológico de implementación de LEAN MANUFACTURING”, por Sarria Yépez, Fonseca Villamarín, y Bocanegra (2017)

2.2.11.1 Heijunka, Nivelación de la producción

Tapia et al. (2017) comenta que la nivelación del plan de producción tanto en capacidad como en mezcla de productos es un requisito indispensable para el sistema Justo a Tiempo y para la eliminación del desperdicio o mudas. El objetivo es mantener una igualdad en el programa de producción para que los pedidos tengan un patrón repetitivo, y que se mantengan estables durante la semana, de manera que se puedan proyectar a hacer modificaciones a largo plazo en la producción, amortiguando las variaciones suavemente.

Esta herramienta es un elemento clave para lograr el flujo y la nivelación en la producción, utilizando la técnica SMED, la cual cambia las especificaciones técnicas de las máquinas en muy poco tiempo fabricando productos variados de forma correlativa y realizando en la misma línea de montaje, donde los procesos están alineados para permitir cambios en los productos fácilmente, obteniendo el resultado de producir lo que se necesita y cuando se

necesita. Por ejemplo, un caso puntual es de la empresa Disaromas S.A. donde se realizó la capacitación del personal para utilizarlo dentro de la mejora de nivelación de la producción, reduciendo en un 15% la acumulación de inventario entre las estaciones de vaciado.

2.2.11.2 Diagrama de Flujo de Valor (Value Stream Mapping, VSM)

Escaida et al. (2016) manifiestan que una herramienta visual de Lean Manufacturing que se basa en ver y entender un proceso e identificar sus desperdicios para desarrollar una ventaja competitiva y evitar fallos en el proceso. Además, permite crear un lenguaje estandarizado dentro de la empresa para una mejor efectividad de los procesos y del personal. El flujo de valor establece la secuencia de los procesos que más impacto van a crear sobre el cliente, es decir los de mayor valoración. (p. 29)

La técnica consiste en dibujar un “mapa” o diagrama de flujo, mostrando como los recursos fluyen en el proceso. Se evidencia desde que se reciben las materias primas por el proveedor, hasta que se entrega el producto terminado al cliente, buscando en todo momento reducir y eliminar desperdicios. Para la aplicación de esta técnica hay que aclarar algunos conceptos tales como (p.30):

Production Lead Time: Es el tiempo desde que se solicita el pedido hasta que está listo para su embalaje o envío al cliente.

Processing Time: Es el tiempo requerido por un trabajador para finalizar su tarea.

Tiempo de ciclo: Es el tiempo promedio para un total de producto en cada proceso, se puede realizar el tiempo medio para cada unidad.

Takt Time: Es la frecuencia con la que las unidades han de ser procesadas, guarda una estrecha relación con la “tasa de demanda del cliente”.

Reprocesados: Es el número de unidades que necesitan ser reprocesadas, por lo que su tiempo de procesamiento será mayor.

Tamaño de lotes: Es el número de unidades de producto que se realizan en un tiempo determinado.

Tiempo Disponible de Equipo: Es el tiempo que se dedica a cada actividad, en un plazo determinado (h/día, h/semana, h/mes), aquí se desprecian reuniones, descansos y todo aquello que pueda perturbar el tiempo de trabajo. Este dato se puede dar en porcentaje.

Demanda: Es el número de productos que necesarios para cubrir las necesidades del mercado.

Para la confección del diagrama de flujo de valor se utiliza una simbología la cual ayuda a leer de manera más rápida el mapa.

Identificado el proceso que se quiere analizar, se identifica las actividades que se realizan en el flujo de valor. Es decir, aquellas que añaden un valor agregado y que el cliente está dispuesto a pagar por ellas, puesto que cubren sus necesidades y satisfacen sus requerimientos. Dentro de estas actividades se pueden encontrar otras que no agregan valor al cliente, pero si a la empresa desde un punto de vista económico y funcional. (p.30)

Escalda et al. (2016) define el desperdicio o mudas como los procesos o actividades que usan más recursos de lo necesario. Se identificarán varios tipos de desperdicios en el desarrollo del diagrama de flujo de valor dentro de producción (p.29):

1. Tiempo. El desperdicio por tiempo de espera es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. Los procesos mal diseñados

pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo.

2. **Inventario.** Los desperdicios ocasionados por inventario son el resultado de tener una 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 el flujo de producción no es continuo.
3. **Transporte.** El desperdicio por transporte es el resultado del movimiento o manipulación de material innecesario. Las máquinas y las líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar en colas de inventario.
4. **Movimiento.** Se define como cualquier movimiento que no es necesario para completar de manera adecuada una operación o actividad. Este tipo de movimiento se refiere a los realizados por una persona, como, por ejemplo: estirarse, inclinarse o tener que desplazarse para ir a buscar una herramienta de uso cotidiano en el proceso.
5. **Defectos.** Los desperdicios derivados de los errores son los más comunes en la industria manufacturera. Significan una gran pérdida de productividad, porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. Los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, eliminando así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales.
6. **Procesos.** Existe muda de procesos cuando a un producto o servicio se le hace más trabajo del necesario, es decir que no es parte normal del proceso y no agrega valor.
7. **Sobreproducción.** Consiste en hacer más de lo necesario. Esta muda se relaciona con las de inventario, procesos y defectos, ya que, si se producen más componentes de los necesarios, aumentará el inventario. Por último, se reconoce que una gran cantidad de unidades defectuosas, tarde o temprano, llevará a la sobreproducción.

2.2.11.3 Las 5'S

Según Charles y Beltrán (2017) menciona que los principios de “las cinco S” que significan lo siguiente: Seiri (Organización y clasificación), Seiton (Orden), Seiso (Limpieza e Inspección), Seiketsu (Estandarización o normalización) y Shitsuke

(Cumplimiento o disciplina). Para tener un mayor conocimiento de esta terminología japonesa y lo que con cada uno de dichos términos se pretende transmitir, vamos a desarrollarlos a continuación (pp.414, 415):

Organización (Seiri). La organización es básica para la implementación del mantenimiento autónomo. Cada lugar de trabajo debe cumplir con una organización asociada a esta forma de realizar su mantenimiento; cuando menos su mantenimiento básico. Con la organización del puesto de trabajo se pretende que no haya más que las herramientas necesarias para la operación o producción de dicho lugar o sección y para su mantenimiento. Dichas herramientas de producción deben estar adecuadamente organizadas, codificadas y en el lugar preciso. De esta forma eliminaremos stocks innecesarios, artículos anticuados y obsoletos, elementos que solo se usan de forma esporádica y que, por tanto, no debieran estar en la propia zona operativa, etc.

Orden (Seiton). Luego de organizar los elementos, repuestos y que utillajes son los realmente necesarios para puesto de trabajo, hay que ordenarlos y, como sabe todo el mundo, es importante que una zona o área de producción las herramientas y útiles se encuentren en un sitio, los elementos fungibles en otro, se utilicen archivadores y cajas, etc. Ayuda también mucho a su fácil localización la delimitación por colores de zonas de trabajo, pasillos, lugares de descanso, zonas de stocks, etc.

Limpieza e inspección (Seiso). Las operaciones de limpieza que deben realizar los operarios de producción para llevar a cabo las inspecciones. Se habla intencionadamente de inspecciones y no de mantenimiento preventivos, pues, es preciso en muchos casos realizar una autentica reingeniería para facilitar a producción la asunción de estas áreas sin que les suponga una carga ocupacional excesiva o tediosa.

Estandarización o normalización (Seiketsu). Los estándares, etiquetas, colores, etc. Se emplean como herramientas facilitadoras para el mantenimiento autónomo; aunque aparentemente, y sobre todo desde el punto de vista occidental, la delimitación de zonas por colores, la fácil interpretación visual de herramientas y medios, etc.

Cumplimiento o disciplina (Shitsuke). Las rutinas de limpieza e inspección que se definan juntamente con producción, así como el mantenimiento del orden y la limpieza, son básico para que el área de trabajo sea conforme con los estándares de un mantenimiento autónomo

perseguidos en T.P.M. Asimismo, la realización de las rutinas mínimas de mantenimiento que se definan, a pesar de ser las mínimas imprescindibles y, es preciso que se lleven a cabo con una disciplina férrea.

2.2.11.4 Kaizen

Tapia Coronado et al. (2017) define que es un término japonés que significa “cambio a mejor” o “mejora” y es habitualmente conocido como mejora continua, y las empresas están buscando continuamente mejorar cada proceso. Esta técnica requiere de una visión objetiva al momento de elegir para una implementación. Esta herramienta solo se puede dar cuando un proceso es estable y está estandarizado. La filosofía Kaizen es una actitud de introspección y autocrítica, una forma de ver y analizar los componentes de la empresa con el objetivo de mejorar.

2.3 Marco Normativo

2.3.1 Ley N° 29783: “Ley de Seguridad y Salud en el trabajo”

Proponen generar una cultura de prevención de riesgos en la parte laboral en el país, mediante la colaboración y deber de los empleadores. En el artículo 2 de la “Ley de Seguridad y Salud en el trabajo” determina que está dirigida a todos los sectores económicos y de servicios, e involucra a todos los empleadores y los trabajadores que están bajo el régimen laboral de la actividad privada, del sector público, etc. (Paz Quiroz, Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2016).

2.3.2 Decreto Supremo N.º 024-2016-EM

Apruébese el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, que consta de cinco (5) Títulos, cincuenta y seis (56) Capítulos, sesenta (60) Subcapítulos, cuatrocientos diecisiete (417) Artículos, una (1) Disposición Complementaria Transitoria, una (1) Disposición Complementaria Derogatoria, treinta y siete (37) Anexos, y tres (3) Guías. (Paz Quiroz, Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2016, p.51)

2.3.3 Decreto Legislativo N° 1278: “La ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”

Apruébese el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, cuyo texto está compuesto de trece (13) Títulos, ciento treinta y seis (136) Artículos, catorce (14) Disposiciones Complementarias Finales, seis (06) Disposiciones Complementarias Transitorias, una (01) Disposición Complementaria Derogatoria y cinco (05) Anexos, los cuales forman parte integrante del presente Decreto Supremo. (Paz Quiroz, Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2017, p.18)

2.4 Casos de éxitos

2.4.1 Caso 1: “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”

Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013) comenta como buscar aumentar la competitividad de las pequeñas empresas que brindan el servicio de mantenimiento de maquinaria pesada, en función a la creación del modelo basado en indicadores de gestión que son resultados de los procesos críticos de dicho servicio; es decir, de los procesos de la cadena de valor que demandan resultados favorables o competitivos para la empresa.

2.4.1.1 Situación antes de la mejora

Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013) manifiesta que Perú presenta debilidades muy fuertes por el enfoque cultural, por ello si no cambian o mejoran su forma de pensar harán retroceder al país en función a las mejoras alcanzadas. Dentro de la evaluación mediante Porte (2010) se identificó que “la dificultad que tienen las empresas para alcanzar el desarrollo es debido a la baja competitividad entre ellas”. Adiciona, que Perú no cuenta con una política y tampoco con una estrategia a largo plazo para abordar el tema de competitividad, y por lo cual se define que la economía no tiene un objetivo establecido.

La mejora de la competitividad se enfoca en la verificación de los procesos y el planteamiento de emplear indicadores de gestión, con lo cual llevará a las empresas a un nivel de organización óptima y que el aporte se visualice de forma tangible en el rubro.

Con este caso de estudio se reconocerá los procesos críticos de las empresas y los indicadores para su control, planteado en el diseño del modelo, que servirá como apoyo para diferentes empresas que soliciten de verificar sus procedimientos de gestión.

La formulación del problema es en qué medida incrementa la competitividad al establecer indicadores de gestión en los procesos críticos de las pequeñas empresas del rubro de servicio de mantenimiento de maquinaria pesada. Por ello, se manifiesta la hipótesis general y las hipótesis específicas, que serán validados por las técnicas estadísticas, por lo cual es importante mencionar las hipótesis nulas (H_0) e hipótesis alternativas que estarán presentados de la siguiente forma:

H_0 : “La aplicación de indicadores de gestión en los procesos críticos de mantenimiento, en las pequeñas empresas de servicio pesado no incrementa el nivel de competitividad.”

H_1 : “La aplicación de indicadores de gestión en los procesos críticos de mantenimiento en las pequeñas empresas de servicio incide favorablemente en la mejora de su competitividad.”

Identificación de las variables:

Variables independientes:

V.I.: Gestión de procesos crítico

Indicadores:

- Integridad del diagnostico

- Efectividad del control de calidad
- Seguimiento del servicio (postservicio)

Variables dependientes:

V.D.: Nivel de competitividad de la empresa

Indicador:

- Nivel de ingresos mensuales

2.4.1.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013) comenta que el estudio de investigación se basa en un tipo de investigación no experimental, donde visualiza los resultados tal y como se da en su entorno natural. Para definir la población manifiesta que realizó dos métodos para que al final determine el resultado del tamaño de la población. El método 1 es estimación del tamaño de la población mediante información basado en estadística. El método 2 es estimación del tamaño de la población mediante información basado en registros municipales de empresas por distrito. Al final, se evalúa los dos métodos llegando a conclusión del tamaño de la población a investigar cómo se observa en la tabla 3.

Tabla 3
Población de investigación

2° Método	Aproximaciones sucesivas	1° Método
300 empresas	320 empresas	342 empresas

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

Para determinar que procesos críticos se van a tomar como análisis se tiene que comprender la cadena de valor de las empresas e identificar que procesos son relevantes o pueden proyectarse como críticos, el objetivo es volcar en los indicadores de gestión.

El objetivo de poner énfasis en la cadena de valor se realiza la metodología del análisis del valor que se focaliza en los costos de los procesos, y como el costo varía en función al tipo de mantenimiento, maquina o avería, se concluye que la variable estará en relación con las horas/hombre invertidas en cada proceso. En la tabla 3 se visualiza que identificando los procesos primordiales pueden lograr que el servicio sea el adecuado y satisfaga al cliente en relación con la tabla 4.

Tabla 4
Análisis de valor

PRODUCTO	Un servicio de mantenimiento de maquinaria pesada	
	Necesidad que satisface: mantener las maquinarias de otras empresas en buen y constante funcionamiento	
FUNCIONES DEL SERVICIO	F1: Mantenimiento prevención (principal)	
	F2: Mantenimiento corrección (secundaria)	
	F3: Mantenimiento paliativo (secundaria)	
	F4: Mantenimiento predictivo (secundaria)	
FUNCIÓN PRINCIPAL: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	PROCEDIMIENTOS	HORAS/HOMBRE
	1. Diagnóstico	1 hora/hombre
	2. Presupuesto	½ hora/hombre
	3. Compra de insumos	½ hora/hombre
	4. Mantenimiento	7 horas/hombre
	5. Control de calidad	½ hora/hombre
	6. Seguimiento del servicio (postservicio)	1 hora/hombre
FUNCIÓN SECUNDARIA 1: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	PROCEDIMIENTOS	HORAS/HOMBRE
	1. Diagnóstico	3 horas/hombre
	2. Presupuesto	1 hora/hombre
	3. Compra de materiales requeridos	1 hora/hombre
	4. Mantenimiento	6 horas/hombre
	5. Control de calidad	1½ horas/hombre
FUNCIÓN SECUNDARIA 2: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	PROCEDIMIENTOS	HORAS/HOMBRE
	1. Seguimiento del servicio (postservicio)	2 horas/hombre
	2. Presupuesto	½ hora/hombre
	3. Compra de materiales requeridos	½ hora/hombre
	4. Mantenimiento	2 horas/hombre
	5. Control de calidad	½ hora/hombre
FUNCIÓN SECUNDARIA 3: MANTENIMIENTO PALIATIVO	PROCEDIMIENTOS	HORAS/HOMBRE
	1. Comunicación con el cliente (postservicio)	2 horas/hombre
	2. Diagnostico	2 horas/hombre
	3. Presupuesto	1 hora/hombre
	4. Compra de materiales requeridos	1 hora/hombre
	5. Mantenimiento	6 horas/hombre
	6. Control de calidad	1 ½ hora/hombre

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

Tabla 5
Proceso en orden de prioridad

PROCESO	N.º HORAS/HOMBRE
Mantenimiento	21 horas/hombre
Diagnóstico	6 horas/hombre
Control de calidad	4 horas/hombre
Seguimiento del servicio	4 horas/hombre
Presupuesto	3 horas/hombre
Compra de requerimientos	3 horas/hombre
Comunicación con el cliente	2 horas/hombre

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

En la tabla 6 se observa la cadena de valor completa.

Tabla 6
Cadena de valor completa

ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS						
- Soporte administrativo		- Elaboración de facturas y guías				
- Control de costos		- Operaciones financieras				
RECURSOS HUMANOS						
- Contratación de personal		- Remuneración de personal			- Relaciones interpersonales	
- Capacitación de personal		- Promoción de personal				
ABASTECIMIENTO Y SERVICIOS GENERALES						
- Evaluación de proveedores		- Convocatoria y concursos			- Elaboración de contratos	
COMPRAS	OPERACIONES				MARKETING Y VENTAS	POSTSERVICIO
-Evaluación de requerimientos	DIAGNÓSTICO	PRESUPUESTO	MANTENIMIENTO	CONTROL DE CALIDAD	-Promoción del servicio	-Seguimiento del servicio
-Evaluación de proveedores	-Revisión de avería y/o requerimiento del Servicio - Informe técnico del diagnostico	- Elaboración de propuesta económica - Entrega de presupuesto de servicio	-Mantenimiento Preventivo	- Supervisión del servicio	-Publicidad del servicio	- Comunicación al cliente
- Elaboración de ordenes de compras			- Mantenimiento Correctivo	- Prueba del Servicio	-Captación del servicio	- Recepción de quejas y sugerencias
			- Mantenimiento Predictivo		-Atención al cliente	

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

Resumiendo, y validando que los procesos son importantes para optimizar la eficiencia y el desempeño de las pequeñas empresas en el servicio de mantenimiento de maquinaria pesada, en la figura 11 se presenta la secuencia del proceso y se estará evaluando mediante indicadores, que etapa es la que genera mayor competitividad en base a Porter (2010) que considera cinco fuerzas, y que se estará optando en este caso de estudio realizado. En la tabla 7 se presenta la ponderación en función al estudio del caso.

Figura 11. Flujograma del proceso

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

Tabla 7
Ponderación de indicadores

INDICADOR	PESO
Rivalidad con competidores	30%
Poder de negociación con proveedores	20%
Poder de negociación con compradores	30%
Amenaza de productos sustitutos	10%
Amenaza de nuevas entradas	10%

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

El proceso se califica mediante o en base al costo, diferenciación y segmentación, por ende, en la tabla 8 se observa cómo se califica.

Tabla 8
Calificación de competitividad de procesos

Competitividad basada en:	Puntaje
Costos (C)	1
Diferenciación (D)	1
Segmentación (S)	1

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

En la tabla 9 se observa que el diagnóstico, control de calidad y Post servicio son los puntos críticos dentro del proceso en función a la cadena de valor.

Tabla 9
Matriz de competitividad de procesos

Procesos		Indicadores	Diagnóstico	Presupuesto	Compras	Mantenimiento	Control de Calidad	Postservicio
Indicador	Peso							
Competidores	0.3	(C)+(S) =2					(D) =1	(D) =1
Proveedores	0.2		(C) = 1	(C)+(S) =2				
Compradores	0.3	(C)+(S) =2				(S) =1	(C)+(D) =2	(C)+(D) =2
Productos Sustitutos	0.1							
Nuevas Entradas	0.1							
TOTAL	1	1.2	0.2	0.4	0.3	0.9	0.9	

Adaptado “Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos pesados”, por Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013)

Como resultado final se determina que las pequeñas empresas pueden aumentar su competitividad si sus recursos direccionan a mejorar su gestión en sus procesos críticos (diagnostico, control de calidad y post servicio). Estos tres procesos son considerados fuente generadora de competitividad en la cadena de valor por ser críticos.

2.4.1.3 Resultados y conclusiones de caso

Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, Doria, y Sancho Dávila (2013) comenta que los procesos primordiales en la cadena de valor en las empresas de servicio de maquinaria pesada son:

- Compras
- Operaciones (diagnóstico, presupuesto, mantenimiento y control de calidad)
- Marketing
- Post servicio

De todo lo expuesto el diagnóstico, control de calidad y el post servicio están considerados como críticos, y que son responsables del 80% de la competitividad que puede crecer una empresa en el sector.

Los procesos críticos demandan competitividad en la magnitud que abordan la gestión, se considera tres niveles para cada proceso, el diagnóstico superficial, intermedio y profundo; el control de calidad ausente, supervisión de calidad y prueba de calidad; y por último el postservicio sin seguimiento, de seguimiento esporádico y de seguimiento constante.

La relación que enlaza el nivel de competitividad (Y) con respecto de la gestión de los procesos críticos (X) guarda una fuerte relación directa, lo que menciona es que si aumenta (X) se incrementa (Y). Evaluando dicha fusión es una ecuación exponencial y al que se presenta como “Modelo basado en indicadores de gestión”.

2.4.1.4 Vinculación

El artículo presentado manifiesta como podemos abordar un problema con la cadena de valor de PORTER (2010), y como evaluar las variables independientes y de pendientes para obtener los indicadores de gestión a medida de la empresa. Después del análisis se determina que el diagnóstico, control de calidad y el post servicio son etapas claves en el proceso del giro de negocio. Por los motivos, mencionados en los artículos servirá como propuesta de mejora en el capítulo 3 para evaluar el proceso y determinar que etapa es crítica dentro del proceso.

2.4.2 Caso 2: “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”

Contreras-Casta, Zambrano-Arroyo, y Vaca-Barrera (2018) presenta la evaluación de tres casos donde se abordará el problema con el análisis de mudas existentes en el proceso productivo de talleres metalmecánicas del departamento de Boyaca-Colombia, con el

objetivo de evaluar el escenario actual o real de los talleres y brindar soluciones que descarten las mermas o desperdicios. En función de la filosofía Kaizen, se desarrolla un estudio del Mapa de Flujo de Valor actual y la estimación de las siete mudas existentes en los procesos productivos, validando niveles altos de tareas sin valor agregado.

2.4.2.1 Situación antes de la mejora

Contreras-Casta, Zambrano-Arroyo, y Vaca-Barrera (2018) manifiesta que desde 1986, cuando se publicó el libro Kaizen y la terminología empieza a tener valor y aceptarse en la industria como concepto clave para las gerencias. La palabra Kaizen en japonés significa “mejoramiento continuo” y la palabra en mención enfoca el mejoramiento que compromete a que gerentes y trabajadores con el objetivo de reducir gastos innecesarios. La palabra en si se fusiona de dos palabras japonesas uno que es “Kai” que significa cambio y “zen” que significa para mejorar. La idea de adaptar Kaizen en las empresas es para elaborar mejoras pequeñas desde lo más básico que es la Gemba (en japonés sitio o lugar de trabajo) y esto conlleva con el tiempo a obtener resultados favorables o sorprendentes.

Las empresas pequeñas y medianas (pymes) no pueden ser ajenas o esquivas al crecimiento global acelerado de las industrias en el mundo, por ende, la necesidad de mejorar en el tema de calidad, costo y entregas. Para que las empresas estén al nivel competitivo del mercado actual tiene que reducir los costos y a la par mejorar la calidad y el optimizar en las entregas.

En el sector que se enfoca el caso es metalmecánica en Colombia y frente a la aplicación del Kaizen, no es favorable el panorama. La mayoría de las empresas colombianas de mediana y pequeña envergadura no contemplan que la herramienta de mejora continua sea algo que va a beneficiar a su empresa y tampoco validan las ventajas y bondades que presentan este tipo de metodología en un taller.

Por medio del caso se va a analizar la problemática de falta de valor agregado y la gestión en el lugar del trabajo de las empresas en el rubro de metalmecánicas, a través de la implementación de los pilares primordiales de la filosofía Kaizen como también los análisis de mudas y ambos métodos ayudan a que se concrete la mejora continua. La idea

es que los talleres se enfoquen en la gestión de calidad, costo y entrega óptima de sus productos.

2.4.2.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

Contreras-Casta, Zambrano-Arroyo, y Vaca-Barrera (2018) aclara que el caso esta direccionado a los talleres de categoría mipymes, y el alcance que se presentará en este caso de estudio son de tres talleres metalmecánicos. En el artículo se mencionará a los talleres con la siguiente denominación Taller 1, Taller 2 y Taller 3.

Para abordar este caso de estudio se va a decidir en tres fases o etapas. A continuación, se presenta las fases:

Fase I Mapa Flujo de Valor como diagnóstico de la situación actual. El mapa de flujo de valor (MFV) o Value Stream Map (VSM, por sus siglas en inglés) te presenta la gráfica de las operaciones, flujos de información y los procesos de los datos. La MFV se enfoca en el entorno del análisis del proceso de una empresa. Es una herramienta que se emplea para reconocer las siete mudas (desperdicios). En la figura 12 se visualiza los indicadores que se sirvió de soporte para ejecutar el MPV.

- Tiempo de Ciclo
TC= tiempo de duración de la actividad o tarea.
- Numero de operarios
N° Op. = cantidad de trabajadores en la estación de trabajo.
- Disponibilidad de la Maquinaria
$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo real}}{\text{tiempo producción posible}} * 100$$
- $$\text{Disponibilidad} = \frac{h \text{ trabajadas} - h \text{ Mantenimiento} - \text{tiempo muerto}}{\text{tiempo producción posible}} * 100$$
- Tiempo Disponible
TD= horas Jornada ordinaria- hora de almuerzo
- Tiempo Tack
$$\text{Tack} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{demanda}}$$
- Demanda
D= cantidad requerida por el cliente en un tiempo determinado

Figura 12. Indicadores para la realización del MPV

Adaptado “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”, por Zambrano-arroyo, Contreras-casta, y Vaca-barrera (2018)

Los indicadores presentados con anterioridad el objetivo es cubrir los tiempos estándar de las tareas para reconocer las mudas actuales en cada proceso.

Para prepara el VSM en primer lugar se debe entender el proceso productivo de la familia de productos, es decir, los productos que presentan una semejanza para realizan un mismo proceso y que son convertidos por la misma maquina se denominará familia de productos. En la tabla 10 se visualiza los datos de una familia de productos que son del Taller 3, y que validan que la familia de productos es la fabricación de brocas para este caso en el taller 3. En segundo lugar, se documenta todo el inventario en general que se visualiza en el lugar de trabajo, los movimientos de los trabajadores y la cantidad de personal que esta por estación. En tercer lugar, se reconoce a los proveedores claves que estarán como soporte en las entregas de insumos y la demanda del producto. Al final, se debe realizar la toma de tiempos de fabricación en cada estación.

Tabla 10
Grupo de familias del Taller 3

Productos/Máquina	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 4	Máquina 5	Máquina 6
Tornillos	X	X		X	X	
Broca	X	X	X	X	X	X
Broca perforada	X	X	X	X	X	X

Adaptado “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”, por Zambrano-arroyo, Contreras-casta, y Vaca-barrera (2018)

Fase II Construcción del formato de valoración para la Identificación de mudas. La Gemba se debe comprender como primer paso para poder administrar un lugar de producción de forma eficaz. A continuación, se presenta la clasificación de las mudas en las siguientes categorías:

- Sobre producto: producir más de lo necesario.
- Inventario: resultado de la sobreproducción, es decir, tener productos semiterminados o terminados, suministros y repuestos que se mantengan en inventario.
- Rechazo de productos defectuoso: devolución de piezas defectuosas.

- **Movimiento:** cualquier movimiento del cuerpo de una persona que no se relacione directamente con la adición de valor, es decir esfuerzo físico del operario, como levantar o llevar un objeto pesado.
- **Procesamiento:** falta de sincronización de procesos,
- **Espera:** se presenta cuando las manos del operador están inactivas.
- **Transporte:** movimiento de materiales o productos que no agregan valor.

Con la definición de las siete mudas se diseñó un formato que abarca en general para todo tipo de empresas y sectores, se adicionó una validación cuantitativa con el objetivo de reconocer el porcentaje y el rango de incidencias que presentará cada muda en el proceso productivo.

Fase III Valoración y análisis de mudas. En la figura 13 se observa el nivel de escala de valoración proyectada.

76% - 100% (128 a 168 puntos), malo, se evidencia un alto porcentaje de presencia del desperdicio.
51% - 75% (85 a 127 puntos), regular, se evidencia parcialmente la presencia del desperdicio.
26% - 50% (43 a 84 puntos), bueno, se evidencia un bajo porcentaje de presencia del desperdicio.
0% - 25% (0 a 42 puntos), muy bueno, se evidencia un muy bajo porcentaje de presencia del desperdicio.

Figura 13. Escala de valoración para la presencia de mudas

Adaptado “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”, por Zambrano-arroyo, Contreras-casta, y Vaca-barrera (2018)

2.4.2.3 Resultados y conclusiones de caso

Contreras-Casta, Zambrano-Arroyo, y Vaca-Barrera (2018) manifiesta que realizó el FMV en los tres talleres para evaluar la situación actual y como aplicar el análisis de las mudas. Por ejemplo, en la figura 14 se observa el FMV aplicado en el Taller 3, y en la cual se visualiza la situación real del proceso de fabricación de brocas en seis estaciones.

Figura 14. Mapa Flujo de Valor del Taller 3

Adaptado “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”, por Zambrano-arroyo, Contreras-casta, y Vaca-barrera (2018)

Las mudas que aparecen o se manifiestan en el Taller 3 son de 415 minutos en función a la pérdida de tiempo, en la figura 14 se observa la valoración de los siete desperdicios que están a lo largo del sistema productivo del taller, en base a la escala de valoración manifestada en la figura 15.

Estación de trabajo Muda	Almacén	Corte	Torneado	Mecanizado y Soldadura	Acabados y Pintura
Sobreproducto
Inventario
Rechazo de producto defectuoso
Movimiento
Procesamiento
Espera
Transporte

Figura 15. Resultados de análisis de mudas en Taller 3

Adaptado “Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia”, por Zambrano-arroyo, Contreras-casta, y Vaca-barrera (2018)

En conclusión, en los tres talleres que fueron materia de estudio se visualiza la presencia de las siete mudas, presentando en los tres talleres coincidencia en los desperdicios por medio de movimientos innecesarios, espera y transporte, validando que necesita implementar un método de mejora. Por ende, propone implementar los tres pilares del Kaizen (programa de las 5S, estandarización y eliminación de desperdicios).

2.4.2.4 Vinculación

El artículo presentado manifiesta como podemos abordar un problema con el Mapa del Flujo de Valor (MFV) en la parte productiva en función al análisis de las siete mudas, y por los resultados ver la viabilidad de implementar los pilares del Kaizen. Por los motivos, expuestos en los artículos servirá como propuesta de mejora en el capítulo 3 para optimizar los tiempos y la demanda de entrega sea la ideal por el área comercial.

2.4.3 Caso 3: “Optimizing assembly line production through line balancing. A case study”

A continuación, se presentará un caso en el que se aplica la metodología balance de línea en una empresa de ensamblé de accesorios eléctricos en Malasia para poder validar la metodología a utilizar.

2.4.3.1 Situación antes de la mejora

En los principios de balance de línea, la carga de trabajo total en el proceso de ensamblaje se divide lo más uniformemente posible entre las estaciones de trabajo, sin obviar las secuencias y las relaciones en las operaciones de ensamblaje. El balance de línea es importante en un sistema de ensamblaje ya que equilibra la línea y aumenta la eficiencia, así como la productividad del sistema. Se llevó a cabo un estudio de caso en la línea de montaje del fabricante de accesorios eléctricos en Malasia. Se registró el tiempo de ciclo para cada estación y se estimó el tiempo de ciclo estándar. La productividad, así como la eficiencia de la línea de montaje actual, fueron estudiadas. En términos de productividad, el rendimiento de los sistemas actuales fue de 500 unidades / trabajador / día, mientras que la productividad esperada fue de 600 unidades / trabajador / día. Se propuso una configuración de línea de montaje basada en el método de balance de línea; la productividad para la línea propuesta aumentó a 671 unidades / trabajador / día, o en un aumento adicional aproximado del 34%.

Debido a la globalización, los fabricantes se enfrentan a una presión sin precedentes para producir productos en un ciclo de tiempo más corto y siguen siendo competitivos en términos de precio. Por lo tanto, los métodos de producción tradicionales han sido reemplazados lentamente por líneas de ensamblaje. La existencia de líneas de montaje en

el sistema de fabricación sin duda ha aumentado la tasa de producción, reducido el costo de producción y aún mantiene la calidad requerida. La línea de montaje fue adoptada por primera vez por Henry Ford de Ford Motor Company en 1913 para satisfacer las enormes demandas de los clientes y seguir siendo competitivos en términos de precio. El método de línea de montaje permitió que el famoso modelo de automóvil T se ensamblara parte por parte, reduciendo el tiempo de ciclo de ensamblaje de cada individuo y disminuyendo el inventario y el costo directo. Esto le permitió a la compañía producir y suministrar un gran volumen de automóviles baratos y asequibles al mercado. Desde entonces, la línea de montaje se ha convertido en un famoso método de producción en la fabricación industria (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.104).

El ensamblaje es el proceso de combinar piezas subfabricadas para producir un producto terminado. La línea de ensamblaje se puede definir como un número de estaciones de trabajo colocadas a lo largo de una mesa o transportador, que transfieren los productos entre las estaciones de trabajo. En un sistema de ensamblaje, las estaciones de trabajo se organizan en secuencia, y el trabajo se realiza en las piezas de trabajo a medida que se mueven de una estación de trabajo a otra. La carga de trabajo total en el proceso de ensamblaje se divide lo más uniformemente posible entre las estaciones de trabajo, sin violar las secuencias y las relaciones en las operaciones de ensamblaje. Para asegurar una transferencia síncrona en el sistema de ensamblaje, la carga de trabajo se distribuye de tal manera que cada estación de trabajo ocupa los mismos intervalos de tiempo, o en otras palabras, el tiempo de ciclo idéntico entre todas las estaciones de trabajo. Este proceso de asignar un tiempo de ciclo igual a las estaciones de trabajo en un sistema de ensamblaje se conoce como balanceo de línea de ensamblaje o balanceo de línea (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p. 104).

El balance de línea es importante en un sistema de ensamblaje ya que puede influir en el rendimiento y la eficiencia del sistema. Se visualiza que una línea de montaje equilibrada aumenta la eficiencia y la productividad. Con mucha frecuencia, el balance de línea de ensamblaje se define como el problema de asignar tareas entre estaciones de trabajo en un ensamblaje, de modo que las funciones dadas se optimicen. Los objetivos del balance de línea incluyen minimizar el costo de ensamblaje, lograr demandas y satisfacer las restricciones del proceso de montaje. Hay dos tipos de problemas simples de equilibrio de línea de ensamblaje (SLBP), concretamente SLBP tipo 1 y SLBP tipo 2. Para SLBP tipo 1,

se proporciona el tiempo de ciclo. Este tipo de ensamblado tiene como objetivo minimizar el número de estaciones de trabajo al tiempo que se cumplen las restricciones de precedencia entre las tareas. Por ejemplo, dado un conjunto de tareas, cada tarea debe asignarse a una estación de trabajo sin exceder el tiempo de ciclo dado. En cuanto a SLBP tipo 2, se proporciona la cantidad de estaciones de trabajo mientras se minimiza el tiempo de ciclo (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.105).

El tiempo de ciclo es uno de los parámetros más importantes para describir el sistema de línea de ensamblaje y el balance de línea. El tiempo de ciclo es el tiempo disponible que se puede asignar a la estación de trabajo, y la suma de todos los tiempos de las tareas no debe exceder el tiempo del ciclo. A veces, puede haber grandes variaciones en el tiempo de ciclo entre las estaciones de trabajo a lo largo de una línea de montaje. Por lo tanto, se utilizan múltiples estaciones de trabajo del mismo tipo y capacidad para acomodar las diferencias de tiempo de ciclo entre las estaciones de trabajo. Tener varias estaciones de trabajo del mismo tipo que tengan un tiempo de ciclo relativamente largo puede acortar el tiempo total del ciclo de producción y garantizar una producción sin problemas (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p. 105).

El tiempo de ciclo está altamente relacionado con la capacidad / producción de producción esperada de una línea de ensamblaje, cuya tasa de producción se describe como el tiempo total de producción dividido por el tiempo del ciclo. Por otro lado, la productividad de una línea de ensamblaje se puede calcular utilizando capacidad de producción / número de trabajadores. La eficiencia de la línea de ensamblaje se puede calcular usando suma de tareas de tiempo/número de estaciones x tiempo del ciclo de estación. En la siguiente figura 16 se muestra las ecuaciones.

$$\text{Expected Production Capacity} = \frac{\text{Total Working Time}}{\text{Workstation Cycle Time (C)}}$$

$$\text{Productivity} = \frac{\text{Production Capacity}}{\text{Number of workers}}$$

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Sum of all tasks time (T)}}{\text{Actual number of workstations (Na) × Workstation cycle time (C)}}$$

Figura 16. Ecuaciones de cálculo de producción, productividad y eficiencia

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

2.4.3.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

Aplicando la metodología en este estudio se centra en el tiempo de ciclo de ensamblaje y la productividad de una línea de ensamblaje. Esta compañía tiene algunas líneas de ensamblaje que producen diferentes productos. En este estudio de caso, solo se seleccionó una línea de ensamblaje; el objetivo de este estudio fue la producción de toma de corriente conmutada. Seleccionar solo una línea de ensamblaje permite un mejor enfoque ya que las diferentes líneas de ensamblaje tienen diferentes operadores e historiales de proceso de producción. El primer paso para comenzar este estudio fue comprender los procesos y secuencias de ensamblaje del producto. A continuación, se registró el tiempo de ciclo para cada estación de trabajo, y se utilizó el método de tiempo de estudio para determinar el tiempo de ciclo estándar para cada estación de trabajo (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.105).

El balanceo de línea se usó para determinar la cantidad óptima de estaciones de trabajo para acortar el tiempo de ciclo de ensamblaje y mejorar la productividad. En base a la observación, hubo un total de 5 procesos involucrados en el ensamblaje de la toma de corriente conmutada. El proceso de ensamblaje se completa utilizando el método pieza por pieza, lo que significa que los trabajadores completan una pieza de trabajo a la vez y pasan la pieza de trabajo a la siguiente estación de trabajo una vez que se completa su trabajo. Las descripciones detalladas de las tareas de cada estación de trabajo se muestran en la tabla 11. Además, el flujo del proceso para este producto se muestra en la figura 17.

Figura 17. Flujo de proceso de toma corrientes conmutadas

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

Tabla 11

Tareas de cada estación de trabajo de montaje

Workstation	Symbol	Job Description
Assembly	A	Assemble base sub-assembly, member spring, button, shutter and shutter spring onto cover. Place a screw on the base-cover assembly.
Screw tightening	B	Tighten all four m3 screws to secure base onto cover.
Final Test	C	Inspect socket continuity and outlook.
Riveting	D	Rivet both sides of the socket.
Sticker	E	Place SIRIM label on the top left corner of the socket.

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

El tiempo de ciclo indicado en la figura 17 fue todo el tiempo de ciclo registrado, que fue el promedio del tiempo de ciclo observado. Según la figura 17, el tiempo de ciclo para la estación de trabajo A es mucho más largo en comparación con las otras estaciones de trabajo. Se puede utilizar el método de estaciones de trabajo múltiples para acomodar la gran variación en el tiempo del ciclo de procesamiento, donde se usan múltiples estaciones de trabajo del mismo tipo y capacidad. Según la configuración actual en la empresa, hay un total de cuatro estaciones de trabajo A. Por lo tanto, el tiempo de ciclo para la estación de trabajo A puede reducirse a 4 segundos. El desempeño humano puede verse afectado por varios factores. Por lo tanto, se incluyen asignaciones para calcular el tiempo de ciclo estándar para cada estación de trabajo. El tiempo de ciclo estándar para cada estación de trabajo después de incluir el porcentaje de tolerancia de condición de lugar de trabajo se registra en la tabla 12. Los porcentajes de asignación de condición de lugar de trabajo utilizados se tomaron según las pautas propuestas por Niebel. Los porcentajes de asignación considerados fueron la asignación personal (0.05), la tolerancia de fatiga básica (0.04), el ruido (0.02) y la temperatura (0.02). El tiempo de ciclo estándar se calcula usando tiempo del ciclo (CT) / 1- la tolerancia, donde el valor de subsidio utilizado fue 0.13 (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.106)

Tabla 12

Registro de tiempos por cada estación de trabajo

Workstation	Symbol	Recorded Cycle Time [s]	Standard Cycle Time[s]
Assembly	A	4	4.6
Screw tightening	B	5	6
Final Test	C	5	6
Riveting	D	5	6
Sticker	E	5	6
Sum of task times			28.6

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

La eficiencia de la línea de ensamblaje se puede calcular usando la ecuación 3, donde la suma de todas las tareas del tiempo se divide por el tiempo total del ciclo. Con respecto a la tabla 12, la suma de los tiempos de las tareas es de 28,6 segundos, mientras que la cantidad total de estaciones de trabajo involucradas es de cinco y el tiempo de ciclo seleccionado es de 6 segundos. Por lo tanto, se calcula que la eficiencia del ensamblaje es 95.33%. La figura 18 muestra la configuración actual de la línea de ensamblaje con el tiempo de ciclo estándar de cada estación de trabajo.

La productividad de la línea de montaje se puede calcular dividiendo la capacidad de producción con el número total de trabajadores involucrados (como se muestra en la ecuación 2). Según la información recopilada de la empresa, la capacidad de producción diaria con la configuración actual fue de aproximadamente 4000 unidades. La productividad real de la línea de ensamblaje se calculó usando la ecuación 2, y la productividad real parecía ser de 500 unidades/trabajador/día (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.106).

Figura 18. Tiempo de ciclo estándar en cada estación

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

La productividad esperada de la configuración actual también se volvió a calcular usando la ecuación 2. En primer lugar, la capacidad de producción esperada se calculó utilizando la ecuación 1. Un total de ocho trabajadores estuvieron involucrados, y el tiempo de trabajo fue de ocho horas, mientras que el tiempo de ciclo de la estación de trabajo utilizado fue de 6 segundos (tiempo de ciclo más largo). La capacidad de producción esperada se calculó entonces en 4800 unidades/día. A continuación, se recalculó la productividad utilizando la ecuación 2, y el valor obtenido fue de 600 unidades/trabajador/día. Parecía que la diferencia entre la productividad real y la esperada en este entorno actual era del 20%.

La productividad de la línea de montaje se puede aumentar al reducir el número de estaciones de trabajo A tres estaciones de trabajo. Teóricamente, la reducción del número de estaciones de trabajo A puede reducir el tiempo de inactividad y aumentar la producción del producto. Si hay tres estaciones de trabajo A, el tiempo de ciclo estándar dividido para este proceso aumentará a 6.13 s, que es similar al tiempo de ciclo de las otras estaciones de trabajo. La figura 19 muestra la configuración propuesta con solo tres estaciones de trabajo A y el tiempo de ciclo para cada estación de trabajo. La reducción del número de estaciones de trabajo A da como resultado una menor cantidad de trabajadores necesarios en la línea de montaje; solo se necesitan siete trabajadores en lugar de ocho. Además, la eficiencia del ensamblaje puede aumentar al usar esta configuración de línea propuesta,

donde la eficiencia para esta configuración propuesta es 98.30% (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.108).

Figura 19. Flujo de proceso de mejora en el montaje

Adaptado “Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study”, por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

El tiempo de ciclo más largo para la configuración propuesta es de 6.13 s, y el total de trabajadores necesarios es de siete personas. Además, la suma de todos los tiempos de las tareas es 30.13s. La capacidad de producción esperada para la configuración de estación de trabajo propuesta es de 4700 unidades. La productividad para la configuración propuesta es de 671 unidades/trabajador/día. Al comparar la configuración actual con la productividad de 500 unidades/trabajador/día y la configuración propuesta, parecía haber un aumento del 34,2% en la productividad. Las comparaciones entre la configuración actual y la configuración propuesta se muestran en la tabla 13. La reducción de 01 trabajador puede reducir la producción, pero al mismo tiempo aumenta la productividad. Esta reducción también resultó en un menor costo de mano de obra por artículo, por lo que el producto es más rentable (Saptari, Leau, y Nor Akramin, 2015, p.108).

Tabla 13

Comparación de situación actual y mejora en el proceso

	Output [unit]	No. of Workers	Working hour [hr]	Productivity [unit/worker/hr]	Efficiency [%]
Current	4000	8	8	500	95.33
Current (Expected)	4800	8	8	600	95.33
Proposed	4700	7	8	671	98.30

Adaptado "Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study", por (Saptari, Leau, y Nor Akramin (2015)

2.4.3.3 Resultados y conclusiones de caso

En una línea de ensamblaje, es importante que cada estación de trabajo tenga un tiempo de ciclo igual o casi igual para que la producción sea uniforme. Se demostró que el método de balance de línea de ensamblaje es beneficioso para identificar y resolver los problemas en la línea de montaje. La productividad esperada basada en la configuración actual de la línea de ensamblaje fue de 600 unidades/trabajador/día. Sin embargo, la productividad real de la configuración actual era de solo 500 unidades/trabajador/día. Además, la eficiencia teórica de la configuración actual se calculó en 95.33%. Con el fin de equilibrar el tiempo de ciclo para todas las estaciones de trabajo a lo largo de la línea de montaje, se propuso una configuración de línea de montaje diferente. La configuración de la línea de montaje propuesta hace que cada estación de trabajo tenga un tiempo de ciclo similar de aproximadamente 6 segundos. La configuración propuesta puede aumentar la productividad de 500 unidades/trabajador/día a 671 unidades/trabajador/día, que aproximadamente el 34%. Además, la cantidad de trabajadores utilizados en la configuración propuesta se reduce en una persona en comparación con la configuración actual. Esto muestra que tener más trabajadores no necesariamente aumenta la productividad en la línea de montaje.

2.4.3.4 Vinculación

El artículo presentado manifiesta como podemos abordar un problema con la metodología de balance de línea en la parte productiva en función al análisis del tiempo del ciclo y conocimientos de procesos de montaje, y por los resultados ver la viabilidad de

implementar el equilibrio de la producción. Por los motivos, expuestos en los artículos servirá como propuesta de mejora en el capítulo 3 para optimizar los tiempos y la demanda de entrega sea la ideal por el área comercial.

2.4.4 Caso 4: “Innovative implementation of several lean principles in a flat steel plant: a case study”

A continuación, se presentará un caso en el que se aplica la metodología Heijunka - nivelación de la producción en una empresa de fabricación de perfiles de acero para poder validar la metodología a utilizar.

2.4.4.1 Situación antes de la mejora

Este documento describe métodos innovadores utilizados para superar los desafíos de la aplicación de varios principios Lean en la producción de perfiles de acero. La mejora de la nivelación de la producción (Heijunka) se logró a través de una mezcla de make-to-order y make-to stock.

Vien Nguyen (2018) define estas estrategias como:

MTO (Make to Order) es un proceso de fabricación en el que la fabricación comienza solo después de que se recibe la orden del cliente. Las formas de MTO varían, por ejemplo, un proceso de ensamblaje comienza cuando la demanda realmente ocurre o la fabricación comienza con la planificación del desarrollo.

Make to stock (MTS) es una estrategia de producción tradicional que utilizan las empresas para hacer coincidir la producción y el inventario con las previsiones de demanda del consumidor. El método MTS requiere un pronóstico preciso de la demanda para determinar la cantidad de stock que se debe producir.

El desarrollo de la metodología de nivelación de la producción en la planta de acero se inicia con un método de asignación inteligente basado en la producción / envío de lotes pequeños. Además, se desarrolla e implementa un innovador método de enfriamiento para disminuir el tiempo del ciclo y ayudar a descubrir defectos de manera temprana. Los

resultados muestran que el porcentaje de contratos enviados dentro de los 3, 6, 9, 12 y 15 días de la fecha de emisión del contrato aumentó en un 97%, 76%, 55%, 44% y 41%, respectivamente. El tiempo promedio desde el inicio de la producción hasta el envío se redujo en un 17%. Una mejor utilización de los astilleros, el descubrimiento temprano de defectos y el buen funcionamiento durante la falta de pedidos de los clientes fueron los resultados de esas prácticas. Este estudio de caso muestra que la innovación es esencial para implementar los principios Lean en industrias específicas y en un entorno laboral en el que, por lo general, no parece posible aplicarlos.

Los resultados positivos del lean manufacturing han sido reportados en muchos estudios tales como: menos tiempo de ciclo (a veces llamado tiempo de rendimiento), menos trabajo -en-proceso, menos reprocesos y defectos, menos problemas en las plantas, menos tiempo para responder a los cambios del mercado, aumento en la entrega a tiempo, aumento la moral de los empleados y mejora de las medidas financieras a largo plazo. Estos resultados animaron a las empresas de diferentes sectores y en diferentes partes del mundo a implementar el lean manufacturing (Fahmi et al., 2014, p.1187).

El lean manufacturing consta de muchos elementos (principios) como reducción de tiempo de configuración, sistema de extracción, nivelación de producción (Heijunka), tamaño de lote pequeño, círculos de control de calidad, tecnología de grupo, control de calidad total y mantenimiento productivo total. Esos elementos se apoyan entre sí. Los elementos de fabricación ajustada se implementan a través de una cultura de eliminación de desechos, análisis de causa raíz, corrección de errores, visualización (planta visual), respeto por los empleados, simplificación, enfoque en el taller y trabajo estandarizado (Fahmi et al., 2014, p.1187).

La investigación muestra que las plantas siderúrgicas en India pueden reducir el costo de producción y el tiempo de entrega mediante la implementación de los principios Lean. En este se descubre que la aplicación de varios elementos de lean manufacturing en la planificación de producción de una planta siderúrgica (EZDK). Esos elementos incluyeron: nivelación de producción, producción de extracción, creación de flujo y Gemba (lugar de trabajo). Presentaron resultados que incluyeron la reducción del trabajo en proceso y el tiempo de entrega (Lead time), además de una menor variabilidad en la carga de las plantas aguas abajo. Este documento trata sobre pasos más innovadores para aplicar lean manufacturing en la misma planta de acero en Egipto (EZDK). En la siguiente sección, se

describen las plantas de perfiles acero EZDK y los desafíos de planificación de la producción. También se describe los pasos lean implementados: demanda de mercado común, asignación inteligente y enfriamiento forzado de agua (Fahmi et al., 2014, p.1188).

El proceso principal de la producción de perfiles EZDK es un proceso continuo que consta del horno de arco eléctrico, un echador y un molino de banda caliente. Las materias primas se funden en el Horno de Arco Eléctrico, y luego el acero fundido se vierte en la Rueda en las losas con el ancho requerido y un espesor de 52 mm. Esas losas se enrollan en el Hot Strip Mill para reducir su espesor y producir bobinas laminadas en caliente con el ancho, el grosor, el acero y el peso requeridos. Esta planta produce bobinas con un ancho de 900 mm a 1600 mm, un espesor de 1.2 mm a 12.7 mm, docenas de grados de acero y un peso de bobina de 8 a 27 t.

El horno de arco eléctrico tiene una capacidad de 160 t, lo que significa que opera con una producción por lotes de 160 t de acero fundido conocido como "calor". El proceso continuo (secuencia) dura más de 10 calores consecutivos (más de 1.600 t) y el Lanzador debe detenerse para prepararse para la siguiente secuencia. Disminuir la longitud de la secuencia aumenta el costo de producción porque algunos materiales costosos tienen que cambiarse en cada secuencia. Existen varias limitaciones para los productos incluidos en la misma secuencia, como: las bobinas no deben tener una diferencia de ancho mayor a 100 mm, la secuencia debe comenzar con un ancho mayor a uno más pequeño, y la secuencia debe comenzar con un grosor alto de 3 o 4 mm y luego, si es necesario, se puede reducir de bobina a la siguiente a través de ciertos pasos. Además, no todos los grados se pueden producir en la misma secuencia (Fahmi et al., 2014, p.1188).

La tabla 14 muestra un ejemplo simplificado de los primeros tres calores de una secuencia. Cada calor tiene un peso de 160 t del mismo grado de acero. Cada calor se divide en varias bobinas con un peso específico según la solicitud del cliente. Para producir una calidad de acero, debe haber un pedido de cliente (contrato) de 160 t o sus múltiplos. En algunos casos, la producción del pedido del cliente se retrasará hasta que otro cliente solicite el mismo grado.

Tabla 14

Ejemplo simplificado de las tres bobinas de acero

Heat #	1												2								3								
Heat Weight (t)	160 t												160 t								160 t								
Steel Grade	A												A								M								
Coil Weight (t)	16	16	16	16	16	12	12	12	12	12	10	10	21	21	21	19	19	11	14	17	17	20	20	20	20	20	20		
Contract#	C9					C1					C23		C30			C17		C2	C8	C18			C15					C4	

Adaptado “Innovative Implementation of Several Lean Principles in a Flat Steel Plant: a Case Study”, por Fahmi et al. (2014)

El perfil de acero se produce en forma de bobinas laminadas en caliente a alta temperatura (alrededor de 600 ° C) y luego se deja durante unos días para enfriarse de forma natural. Hay varias plantas aguas abajo: pase Skin, decapado, corte en tiras, corte ligero a la medida y corte pesado a la longitud. La bobina toma una ruta u otra a través de esas diferentes plantas en función de la demanda del cliente.

El equipo de planificación de las plantas de perfiles de acero debe satisfacer las necesidades de los clientes, que incluyen: grado de acero, espesor, ancho, tipo de procesamiento, tipo de empaque, rango de peso de la bobina y corto tiempo de entrega. Además, deben considerar todas las restricciones técnicas de las plantas. Hacer frente a todas estas complicaciones al intentar minimizar el stock es muy desafiante.

Los contratos de ventas locales y de exportación difieren en sus especificaciones y el patrón de envío. Los clientes locales regulares realizan solicitudes mensualmente y la mayoría solicita las mismas especificaciones cada mes. Transportan sus productos de EZDK varias veces al mes y pagan a la compañía antes del envío. En algunos casos, el cliente puede mantener sus productos en EZDK durante varias semanas, lo que puede ocasionar problemas en los depósitos de almacenamiento. Por otro lado, las solicitudes de los clientes extranjeros se envían como un solo lote y varían de un contrato a otro, a excepción de algunos productos que se solicitan regularmente (Fahmi et al., 2014, p.1189).

2.4.4.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

El equipo de planificación de producción de perfiles de acero en EZDK está formado por cinco ingenieros. Recientemente, este equipo ha aplicado varios principios Lean y ha

logrado resultados positivos. Para ir más allá en el viaje Lean, el equipo tomó más medidas al pasar de la preparación por pedido a una combinación entre fabricación por encargo y fabricación a fin de nivelar la producción y aplicando un tamaño de lote pequeño en la asignación desde el stock de la compañía hasta el orden del cliente, además de disminuir el tiempo de ciclo de 6 días a 1.5 días para una familia específica de productos. El resto del documento explica la implementación de esos pasos y los resultados del estudio de caso.

A continuación se describe los pasos Lean de nivelación de la producción:

- Demanda común de mercado (CMD)

La nivelación de producción mediante la aplicación de la producción de modelos mixtos ha sido aplicada por Toyota y descrita en la literatura. La idea básica es nivelar la producción por volumen y mezclar para que no exista una demanda repentina en los procesos previos para producir grandes lotes de cualquier producto. Dicha demanda repentina causará perturbaciones en el sistema de extracción, la detención de algunos procesos y la demora en la entrega. Producción de modelo mixto significa que la planta produce una mezcla de productos cada día con cantidades iguales a la demanda diaria promedio de cada producto. Por ejemplo, si la demanda semanal esperada de los productos A, B, C y D es 70, 140, 35 y 14, la planta debería producir todos los días 10 de A, 20 de B, 5 de C y 2 de D.

La nivelación de la producción por mezcla no es una tarea fácil para una planta de perfiles de acero con un número infinito de productos en función de la combinación de espesor, ancho, grado de acero, peso y procesamiento especial que el cliente solicite. Aunque el equipo de planificación de producción intentó reducir el tamaño del lote, aplicar el sistema de extracción y aplicar la nivelación de producción produciendo una variedad de productos cada día a partir de mediados de 2011. Esto condujo a la producción de ciertos productos en determinados momentos que, a su vez, condujeron a la sobrecarga de algunos procesos posteriores y / o una gran demanda de aditivos específicos para materias primas en aquellos momentos.

En noviembre de 2012, el equipo de planificación de producción decidió buscar productos que con frecuencia son solicitados por más cliente. El equipo llamó a esta idea Common Market Demand (CMD). La base del estudio fue un período de 01 año. Los productos que se solicitaron en el 80% de los meses por varios clientes se consideraron productos de CMD. El equipo se sorprendió al encontrar docenas de productos que se solicitan cada mes. También se descubrió que algunos productos se pueden agrupar y producir como el mismo producto. Finalmente, el equipo decidió aplicar la idea con un enfoque más simple. Un stock máximo de cada producto se definió como: $\text{Stock máximo} = (\text{Demanda diaria promedio} * \text{Tiempo de producción en días}) + \text{Cantidad mínima de pedido}$

El tiempo de entrega se asumió como 8 días para todos los productos. La cantidad mínima de pedido era diferente del producto a otro y generalmente estaba controlada por el tamaño del calor (160 t) a menos que los otros productos CMD con el mismo grado en 2013, la cantidad mínima de pedido se redujo gradualmente para varios productos. El resultado fue identificar 55 productos que se solicitan con frecuencia. Más tarde, el número aumentó a 75 productos que constituyen aproximadamente el 75% de la demanda local y el 50% de la demanda total. Los productos CMD se producen con frecuencia independientemente de la existencia del pedido del cliente (Fahmi et al., 2014, p.1190).

- Método de asignación inteligente

Aplicar nivelación de producción es más fácil cuando la demanda se nivela. Hubiera sido muy útil si los clientes envían el producto en pequeñas cantidades todos los días o cada semana. Desafortunadamente, esto no es fácil de lograr en este momento debido a varias razones relacionadas con la economía, los términos del contrato, el proceso de fabricación del cliente, la cultura del cliente ... etc. Los clientes solían solicitar grandes cantidades que pueden necesitar en uno/dos/tres meses y sin un plan de envío parcial claro. Como resultado, se produjeron grandes cantidades y esperaron que el cliente las enviara. El aumento de las existencias significa la pérdida de oportunidades para generar efectivo y, a veces, una planta se detiene debido a la falta de espacio en su patio. Más tarde, este método se modificó produciendo un cierto porcentaje del contrato y reanudando la producción después que el cliente comienza a enviar. Esto llevó a un retraso en la reacción al envío

repentino del cliente. El equipo de planificación de la producción se enfrentó al desafío de minimizar el stock, mejorar el flujo de efectivo y entregar menos tiempo en esas condiciones.

A la luz de los principios lean del tamaño de lote pequeño y la producción/entrega de Just-In-Time, el equipo de producción desarrolló un método inteligente para satisfacer la demanda estocástica del cliente, aplicar la nivelación de la producción y acortar el tiempo de entrega. En lugar de producir grandes cantidades la cliente específica, se produjeron muchos productos para stock (Demanda común de mercado) y luego se asignaron (asignaron) a contratos de clientes con pequeñas cantidades. Por ejemplo, si el cliente solicita 1,000 t de producto específico, el equipo de producción solo asigna 200 t, y cuando se envíen, se asignarán otras 200 t. El método de asignación inteligente intenta hacer coincidir la asignación con la tasa de envío, de modo que estamos creando un sistema de extracción y asignando existencias a tantos clientes como sea posible. En la asignación inteligente, el envío es la señal para una mayor asignación, mientras que, en la forma tradicional, la asignación no está relacionada con la tarifa de envío.

La implementación no fue fácil porque va en contra de la cultura tradicional de los representantes de ventas y los propios ingenieros de planificación. A los representantes de ventas no les gustaba que se asignara una pequeña cantidad a un contrato grande y querían que se les asignara una gran cantidad. Los ingenieros de planificación solían producir los contratos completos y terminar con ellos. Poco a poco, los representantes de ventas empezaron a confiar en la asignación inteligente y a los ingenieros de planificación les gustó la asignación inteligente porque vieron sus resultados en la disminución del stock y la satisfacción de la demanda de varios clientes (Fahmi et al., 2014, p.1191).

- Refrigeración de agua forzada

El perfil de acero se produce como bobinas a una temperatura de aproximadamente 600 °C. Se necesitan 4 días en invierno y 6 días en verano para que la bobina se enfríe de 600 °C a 40 °C con el fin de ser inspeccionada / procesada en el siguiente paso. Esto significa que tarda de 4 a 6 días para descubrir cualquier problema de calidad y / o para procesar las

bobinas en las plantas aguas abajo. Esto llevó, a veces, a retrasar la entrega porque el ciclo de descubrir el efecto y la reproducción es largo.

Con el objetivo de minimizar el tiempo de entrega y descubrir cualquier defecto antes, el equipo probó e implementó un nuevo método de enfriamiento. Los resultados mostraron que la bobina se enfrió a 40 °C en pocas horas. Todas las pruebas mecánicas y metalúrgicas no mostraron ningún efecto negativo de este método de enfriamiento. Se fabricó un pequeño recipiente de enfriamiento, que puede enfriar tres bobinas al mismo tiempo, y se utilizó agua residual como líquido refrigerante (Fahmi et al., 2014, p.1191).

2.4.4.3 Resultados y conclusiones de caso

En esta sección se presentan los resultados de la metodología de nivelación de la producción con respecto a:

- Tiempo de entrega reducido

Una comparación entre los porcentajes de peso acumulado de contratos locales enviados dentro de varios días después de la emisión del contrato muestra cómo este porcentaje aumentó significativamente después de aplicar el método de nivelación de producción y asignación inteligente. Las figuras 3 y 4 muestran el porcentaje de envío acumulado de contratos locales después de 3, 6, 9, 12 y 15 días de la fecha de emisión del contrato. En promedio, este porcentaje aumentó en 62.4% en 2013. El porcentaje de aumento estuvo inversamente relacionado con el número de días. Es obvio que el porcentaje de envíos comenzó a mejorar en 2011 y 2012 debido a la implementación básica de Heijunka y a la producción de mediados de 2011, lo que resultó en un menor tiempo de entrega, y esto se mejoró en 2013 al aplicar CMD y asignación inteligente.

- Flujo de efectivo mejorado

Al usar el método de asignación inteligente junto con la demanda del mercado común (CMD), el número de días entre el inicio de la producción y el envío se redujo en un 16,9%. El tiempo promedio desde el inicio de la producción hasta el envío (enero de 2010 a octubre de 2012) fue de 21,4 días. y después de aplicar la asignación inteligente y CMD (noviembre de 2012 a junio de 2013) alcanzó los 17.8 días con una reducción en la desviación estándar de 16.2%. Disminuir el número de días desde el inicio de la producción hasta el envío mejora el flujo de efectivo porque los clientes locales pagan al momento del envío. Además, conduce a una mejor utilización de los patios de productos finales.

- Más nivelación de producción por mezcla de productos

Al tener 75 productos para ser producidos con frecuencia, era más fácil nivelar la producción produciendo una variedad de productos cada día. En días anteriores, esta nivelación estaba limitada por los contratos disponibles que pueden o no permitir la producción de diversos productos diariamente. La reducción en el intervalo entre dos lotes de producción consecutivos del mismo producto se usa como una medida de nivelación de la producción. La relación entre el tamaño del lote (cantidad promedio de producción) y la demanda mensual promedio se usa como una medida de la producción de lotes pequeños.

- Flexibilidad para producir casi cualquier familia de productos en cualquier momento

Antes de aplicar la demanda del mercado común (CMD), a veces era imposible presentar una solicitud del cliente porque la planta opera en un lote grande (alrededor de 1.600 t) del ancho de aproximadamente 100 mm y es posible que no haya suficientes pedidos de los clientes para producir ese lote o incluso la mitad de eso. Después de aplicar CMD, este caso casi ha desaparecido porque, casi siempre, hay una oportunidad para producir productos CMD de diferentes anchos y grados.

- Ajuste del plan en función de las solicitudes del cliente y la condición de la planta

A veces, el cliente tiene una necesidad urgente de un determinado producto. En otros casos, la planta puede necesitar agregar más calores a la secuencia debido a cualquier razón técnica. En otros casos, la interrupción repentina de la planta puede hacer que la composición química del acero fundido cambie, por lo que será necesario fundir este acero fundido para obtener otro grado de acero. Fue difícil responder positivamente a aquellas situaciones en el pasado que llevaron a un retraso en la entrega, un mayor costo de producción y más existencias (inventario). Al aplicar CMD, siempre hay alternativas para estos casos. Los calentadores se agregan desde CMD, las solicitudes urgentes pueden producirse al agregar CMD a la solicitud del cliente para formar una o dos calores, y, finalmente, CMD se utiliza una calidad de acero alternativa.

- Reducción del tiempo de enfriamiento para un número limitado de bobinas en un 75%

Al usar refrigeración por agua forzada, el tiempo de enfriamiento se redujo de 4 a 6 días a un solo día. Aunque este método se usa solo para un número limitado de bobinas, para propósitos de inspección y para satisfacer una necesidad urgente del cliente, está asegurando el suministro para un sector muy crítico. En lugar de descubrir un defecto después de 6 días, se descubre después de 01 día. Por otro lado, en caso de escasez, la planta puede producir hoy para entregar mañana por la noche.

Este estudio de caso muestra cómo los principios Lean pueden afectar el tiempo de entrega. Toma algún tiempo obtener la disciplina para reponer las existencias del supermercado.

La implementación de la producción nivelada se puede mejorar en el futuro comercializando los productos CMD y alentando a los clientes a enviar en pequeños lotes en intervalos cortos. La asignación inteligente y la CMD aún se encuentran en su fase

elemental y deben mejorarse para acortar el tiempo desde la producción hasta el envío en mayor porcentaje.

2.4.4.4 Vinculación

La implementación adicional de los principios Lean en una planta de acero plano en Egipto muestra que la industria siderúrgica puede obtener una ventaja competitiva en el tiempo de entrega y la respuesta rápida al mercado. Debido a la naturaleza de la tecnología utilizada en dicha industria pesada, no podemos copiar/pegar los principios de lean manufacturing tal como se implementan en otras industrias, pero siempre podemos utilizar el núcleo de las ideas básicas como eliminación de residuos, extracción, flujo, lotes pequeños y nivelación de producción (heijunka) de una manera innovadora. Por estos motivos, este artículo servirá como base para elaborar las propuestas de mejora en el capítulo 3 del trabajo de investigación aplicada, debido a que la empresa en estudio presenta también áreas funcionales de procesos continuos de reparación.

2.4.5 Caso 5: “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”

A continuación, se presentará un caso en el que se aplica la metodología balance de línea en una empresa de fabricación de montaje de ventiladores domésticos para poder validar la metodología a utilizar.

2.4.5.1 Situación antes de la mejora

Uno de los esfuerzos que la compañía hizo continuamente para competir fue reducir el desperdicio o cualquier cosa que no agregue valor a los productos, como la actividad de espera que causa el desequilibrio de la carga de trabajo entre las estaciones de trabajo en una ruta de producción. Esta condición dio como resultado una estación de trabajo inactiva, acumulación de bienes intermedios y baja utilidad de la estación de trabajo. Esta estación de trabajo aparentemente tiene que esperar en un tiempo dado después de que las estaciones de trabajo terminen. Por esa razón, este estudio tiene como objetivo equilibrar la carga de trabajo entre las estaciones de trabajo y aumentar la capacidad de producción de la empresa. Esta investigación utiliza un enfoque de simulación al modelar la producción

inicial con software ProModel y evaluar el rendimiento de la producción inicial con un contenido actual de indicador, salida y tiempo promedio de operación. El rendimiento del modelo de línea de producción inicial fue el índice de suavidad de 2007.5, el contenido actual de 10 unidades, la producción de 34 unidades y el tiempo promedio de operación de 35.19 minutos. El modelo alternativo de la trayectoria de producción seleccionada se debe a sobresalir en cuatro factores de rendimiento de la pista: menor contenido actual (1 unidad), mayor producción (48 unidades), índice de uniformidad más bajo (461,8) y mayor capacidad de producción (9,12 unidades/hora) (Syahputri et al., 2018, p.1).

El crecimiento cada vez mayor en la industria manufacturera ha impulsado a las empresas a buscar formas de mantenerse competitivas. La actividad de desempleo se produce debido a la carga de trabajo de desequilibrio entre las estaciones de trabajo en la ruta de producción. Esta actividad resultó en la acumulación de materias primas para ser procesadas en una estación de trabajo particular (cuello de botella). Los problemas que ocurren en la empresa de electrónica que fabrica el ventilador son la cantidad de apilamiento en algunas estaciones de trabajo. La compañía tiene 9 estaciones de trabajo donde se produce la mayor acumulación en la estación de empaque. Esto se debe a que la estación de empaque requiere un tiempo de procesamiento más largo en comparación con otras estaciones de trabajo. Por lo tanto, es necesario analizar el balance de seguimiento desde la línea de producción para que el proceso de producción funcione sin problemas (Syahputri et al., 2018, p.2).

El balanceo de la línea de ensamblaje es el proceso de asignar un grupo de tareas a realizar en una secuencia ordenada de estaciones de trabajo de tal manera que todas las estaciones de trabajo tengan aproximadamente el mismo tiempo asignado para finalizar sus tareas. Al equilibrar las líneas de ensamblaje utilizando solo las operaciones necesarias se puede reducir la duración del tiempo perdido. El objetivo principal del balanceo de la línea de ensamblaje es minimizar el tiempo de inactividad en la producción de línea y mejorar la eficiencia de producción de la línea de ensamblaje minimizando el número de estaciones de trabajo requeridas, el tiempo de ciclo o una combinación de ambos. Hay algunos indicadores que se utilizan para determinar la calidad del balance de línea, la eficacia de línea, el índice de suavizado y el tiempo de equilibrio de línea (Syahputri et al., 2018, p.2).

El problema del equilibrio de seguimiento generalmente se puede resolver mediante métodos heurísticos y analíticos (matemáticos). Sin embargo, los resultados obtenidos de

ambos métodos no pueden predecir o analizar el rendimiento de los resultados si se aplican a las condiciones reales. Por lo tanto, se requiere un enfoque de simulación para analizar el rendimiento sin tener que esperar para aplicar primero al sistema real.

La simulación es una herramienta importante para analizar la situación actual y determinar qué es necesario hacer más adelante, su ventaja es prever los resultados de la decisión de inversión. La simulación de procesos permite a la gerencia estudiar la dinámica del negocio y considerar los efectos de los cambios sin riesgo. Las simulaciones se usan en una computadora para evaluar un modelo numéricamente durante un cierto período y se recopilan datos para estimar las características reales deseadas de un modelo (Syahputri et al., 2018, p.2).

El objetivo del estudio es equilibrar la carga de trabajo entre estaciones de trabajo de montaje en la producción de ventiladores mediante simulación y aumentar la capacidad de producción de la empresa.

2.4.5.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

El estudio se realizó sobre la producción de electrodomésticos de uso doméstico, tales como productos de ventiladores. El estudio usa actividades para desarrollar la línea de producción.

En primer lugar, describió el flujo de trabajo y el estudio del tiempo a lo largo de la línea en detalle. Luego, hizo un diagrama de precedencia basado en la secuencia de procesos en la producción de la línea y calculó un índice de suavizado para la producción real de la línea. El siguiente paso, analizar el sistema real por modelo de simulación. La simulación se realizará utilizando el software ProModel 7.5 Student Versión. La simulación que utiliza este software se realiza en varias etapas, es decir, formulación de problemas, traducción de modelos, verificación, validación, diseño experimental y ejecución y análisis de producción. La formulación de problemas es la primera etapa en la construcción del modelo de simulación. En esta etapa determinó los problemas que ocurren, el propósito del diseño de la simulación (Syahputri et al., 2018, p.2).

Después de definir las declaraciones de problemas y destinos en esta etapa, se realiza la traducción del modelo. Antes de traducir el modelo, primero se determina el patrón de

distribución de los datos que la entrada principal de la simulación. Después el modelo de la ruta de producción del ventilador se obtiene al realizar la traducción del modelo.

Luego valide el modelo para ver la precisión de los resultados de la simulación. Los experimentos se llevaron a cabo mediante la determinación de alternativas con las reglas básicas de equilibrar la trayectoria de producción de dividir la tarea (dar la pieza de trabajo de una estación de trabajo a la siguiente estación de trabajo al no exceder el tiempo de ciclo) y compartir la tarea (la división de las estaciones de trabajo que tienen un ciclo de tiempo de funcionamiento a lo largo del tiempo en dos o más estaciones de trabajo). Después de obtener alternativas de mejora, el siguiente paso es simular cada modelo alternativo. Los resultados de la simulación de cada alternativa se analizan observando los criterios de salida, contenido actual y tiempo promedio en funcionamiento, que es un factor de rendimiento de la pista en ProModel (Syahputri et al., 2018, p.2).

De acuerdo con los resultados de la simulación, las líneas de producción alternativas se compararán con la línea real usando simulaciones nuevamente. La evaluación y mejora de la línea de producción se presentará de acuerdo con la producción, el contenido actual, el tiempo promedio, el operador, la capacidad de producción y el índice de suavizado. La determinación de la mejor ruta de producción entre la ruta de producción real y la ruta de producción de los resultados de la simulación se ve en función del valor de las variables que se han determinado.

2.4.5.3 Resultados y conclusiones de caso

La verificación del balance inicial de la línea comienza con el diagrama de precedencia de la secuencia del proceso. La secuencia de proceso de producción de ventiladores en cada estación de trabajo se puede ver en la tabla 15.

Tabla 15

Proceso de secuencia de montaje de ventiladores domésticos

No.	Work Station	Predecessor Work Station	Process Time (second)
1	Installation of lower footprint	-	142,73
2	Installation of dynamo and house cover dynamo	-	44,10
3	Installation of front casing and hinge	-	101,16
4	Installation of dynamo on front casing	2,3	91,86
5	Installation of button casing, button, cable connection and soldering	4	427,16
6	Testing, house dynamo installation, sticker installation, and plastic nuts installation	5	266,66
7	Installation of back casing	6	463,43
8	Testing of Propeller	7	103,20
9	Packaging	1,8	862,02
Total			2502,32

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por (Syahputri et al. (2018)

En base a la secuencia de proceso anterior, un diagrama de precedencia del proceso de producción del ventilador se muestra en la figura 35.

Figura 20. Diagramas precedentes del proceso de ventiladores domésticos

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

Además, un modelo de línea de producción se hace usando software. Traducción del modelo de trayectoria de producción del ventilador con ProModel 7.5 como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Modelo de línea de montaje con el software proModel

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

Después de obtener el tiempo estándar de cada estación de trabajo, calcule el índice de uniformidad de la línea de producción del ventilador de la siguiente manera de la figura 22.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^k (ST_{max} - ST_i)^2}$$

$$SI = 1907,25$$

Figura 22. Fórmula de índice de uniformidad de la línea producción

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

El índice de suavidad de la línea de producción de ventiladores es 1907,25. Esto indica el rendimiento de la línea de producción inicial del ventilador todavía no es bueno, por qué es necesario mejorarlo. Se hicieron mejoras al determinar alternativas al sistema modelo de la línea de producción de ventiladores iniciales. La determinación de alternativas se hace con las reglas básicas de producción de equilibrio de línea que divide la tarea y comparte la

tarea. Los modelos de simulación de Alternativa 1 y Alternativa 2 pueden verse en la figura 23.

Figura 23. Modelo de línea de montaje con alternativa 1 y alternativa 2

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

La alternativa 3 de la simulación del modelo se puede ver en la figura 24.

Figura 24. Modelo de línea de montaje de la alternativa 3

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

Además, el mejor modelo alternativo se determina al ver los factores de rendimiento de la línea de producción, es decir, CurrentContent (CC), Output (O), Average Time en funcionamiento (AT), Smoothness Index (SI), número de operadores y trabajo capacidad de recapitulación del rendimiento de cada modelo.

Basado en la tabla 16, el modelo alternativo general es mejor que el modelo de línea de producción real. Los modelos alternativos 1 y 2 tienen muchos rendimientos ventajosos, una cantidad tan lenta de operadores (5 personas). Sin embargo, el modelo alternativo 3 tiene muchos rendimientos ventajosos en 4 cosas, el contenido actual más bajo (1 unidad), el rendimiento más alto (50 unidades), el índice de uniformidad más bajo (259.48) y la capacidad de producción más alta (9.24 unidades / hora). El tiempo promedio alternativo en el factor de operación 3 no es significativamente diferente de los otros modelos, que solo de 0.01 minutos o 0.6 segundos. Por lo tanto, el modelo alternativo de la mejor línea de producción es el modelo alternativo 3. Los resultados del estudio aclaran estudios previos que afirman que la línea de ensamblaje mediante simulación puede superar el problema de apilamiento en ciertas estaciones de trabajo que causan el cuello de botella. La simulación puede analizar el rendimiento de las alternativas producidas al usar la computadora sin tener que esperar a la aplicación en el sistema real (Syahputri et al., 2018, p.3).

Tabla 16
Cuadro comparativo de alternativas 1, 2 y 3 con el simulador ProModel

Model	Performance Factors					
	Current Content (unit)	Output (unit)	Average Time (minute)	Smoothing Index	Operator (person)	Production Capacity (unit/hour)
Actual Production Line	9	33	33,72	1907,25	9	5,46
Alternative 1	4	47	33,72	263,74	5	7,70
Alternative 2	3	48	33,72	286,32	5	8,05
Alternative 3	1	50	33,72	259,48	6	9,24

Adaptado “Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach”, por Syahputri et al. (2018)

El balance de línea se realiza para equilibrar la carga de trabajo entre las estaciones de trabajo, por lo que se puede evitar el cuello de botella. El uso de simulaciones se realiza para facilitar el análisis del rendimiento de las alternativas producidas sin tener que esperar para su aplicación en el sistema real. Usando la simulación, se encuentra el modelo alternativo general es mejor que el modelo de línea de producción real para todas las características, es decir, tiempo promedio, salida, índice de suavizado, número de operador y capacidad de producción.

2.4.5.4 Vinculación

El artículo presentado anteriormente nos muestra cómo podemos implementar la metodología de balance de línea realizando simulaciones en el programa ProModel sin afectar toda la organización. Por estos motivos, este artículo servirá como base para elaborar las propuestas de mejora en el trabajo de investigación aplicada, debido a que la empresa en estudio presenta también procesos de montaje y reparación es su principal problema.

2.4.6 Caso 6: “A study on implementation of lean methodology in the plywood industry”

A continuación, se presentará un caso en el que se aplica la metodología lean manufacturing usando como herramientas el VSM y apoyado por el diagrama de recorrido en una empresa de ensamblé de madera contra placadas en la empresa Plywood Industry, que identifica actividades que no agregan valor, desarrollando la implementación con la mejora continua PDCA para poder validar la metodología a utilizar.

2.4.6.1 Situación antes de la mejora

En el estudio actual, la herramienta de Lean, PDCA se utiliza para resolver el problema. El ciclo PDCA o la rueda de Deming se compone de cuatro fases, que son plan, hacer, comprobar y actuar.

- PLAN: ¿En la fase de plan se usará el diagrama de espina de pescado y el análisis Por qué? - Por qué? se utilizan para identificar el problema.

- HACER: En la fase de hacer, los conceptos de 5S y el diseño y se examinan los cambios.
- COMPROBAR: En la fase de verificar, se evalúan los cambios.
- ACTO: En la fase actuar, se estudian los cambios a fondo y se solicita la ejecución de esta.

Se describe el proceso de la plancha contra placadas, para el reconocimiento posterior de las mudas que se generan en cada proceso de producción. (Bhat et al., 2017, p.175).

1. Preparación de la resina. - La resina se prepara inicialmente para la unión de la capa. Alrededor de 900 kg de resina se prepara cada semana y se almacenan sobre 150kgs de resina se utiliza por día.
2. El secado del núcleo. - El núcleo se coloca en un espacio abierto alrededor de una semana. Se envía entonces a la secadora o la máquina de secado para una mayor reducción de su contenido de humedad.
3. Preparación veener Face. - El veener cara ha sido importada desde Birmania en paquetes de 500 y se separa manualmente de acuerdo con las necesidades diarias.
4. El corte del núcleo. - El núcleo de hidratada de la secadora se corta en formas regulares utilizando máquinas operadas manualmente.
5. Montaje de la madera contrachapada. - El material de madera contrachapada se monta antes de la operación de prensado hidráulico. El núcleo está colocado entre la cara de tal manera que las capas alternativas de núcleo son paralelos entre sí.
6. Prensa hidráulica. - Después de la madera contrachapada ensamblado se pasa a la prensa hidráulica, se presiona durante un cierto tiempo dependiendo del espesor de la madera contrachapada y temperatura mantenida.
7. Operación de corte. - Después de la operación de prensado, se permite que la madera contrachapada enfriar. Se pasa luego a través de la máquina de corte a cortar según la dimensión requerida. Operación de lijado. - Una vez se ha completado la operación de corte, tanto las caras de la madera contrachapada se pulen usando la lijadora de banda.

8. Termitas Barniz protector. - Desde la madera contrachapada es propenso al ataque de termitas, se sumerge en un líquido químico y se deja secar.
9. El lijado manual. - Este es el paso final en la fabricación de la madera contrachapada. En este caso, el acabado de la madera contrachapada se realiza manualmente mediante lijado matorrales y se almacena.

Los problemas que se identificó en el proceso de madera contra apalancada fueron como contenido de humedad en el material, aleatoriedad, cruce en los procesos, y el aspecto personal el cansancio, desmotivación y falta de capacitación, finalmente la falta de mantenimiento a equipos y reprocesos. (Bhat et al., 2017, p.176)

2.4.6.2 Situación con cambio, planificación de lo que se va a implementar

Para la implementación de la metodología Lean manufacturing se desarrolló con la herramienta de mejora continua PDCA, definiendo en cada paso su seguimiento y control. A continuación de desarrolla el caso de estudio según. (Bhat et al., 2017):

Plan

Las áreas que requieren mejora se identificaron mediante el análisis, que consistía en la lluvia de ideas y la observación del problema. El diagrama de espina de pescado se ha creado para mostrar las causas de la baja productividad (Figura 25).

Figura 25. Diagrama de espina de pescado

Adaptado “A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry”, por Bhat et al. (2017)

Hacer

El segundo paso en el proceso de resolución de problemas es Do, en el que se prepara la disposición (Figura 26) y el mapeo de flujo de valor (Figura 27) del escenario actual de la planta. El primer S que se aplica Ordenar lo largo de todo el trazado. El uso de ello, se identifican los elementos que se necesitan y los elementos para ser reubicados y se desecha. Entonces, teniendo todos estos aspectos en consideración, se desarrolló un nuevo diseño. Los cambios observados con la incorporación de la estructura revisada son: cruces de procesos asociado con veener núcleo se reduce; y el aumento de la productividad

El nuevo diseño también se desarrolló de una manera tal que más superficie estaba disponible para hacer el trabajo de valor añadido. El nuevo diseño también provocó la caída del inventario de la zona baja considerablemente.

Figura 26. Diseño actual

Adaptado “A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry”, por Bhat et al. (2017)

Figura 27. Mapeo de flujo de valor real

Adaptado “A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry”, por Bhat et al. (2017)

Comprobar

Mapa del flujo de valor (VSM) es una herramienta de mejora de la empresa, que ayuda en la visualización de todo el proceso de producción, y representa tanto material y flujo de información. El objetivo es identificar todos los tipos de residuos en la cadena de valor y que tome medidas para eliminarlos. Tomando el punto de vista de flujo de valor significa trabajar en el cuadro grande y no los procesos individuales, y la mejora de los enteros flujo y no sólo la optimización de las piezas. En la fase de verificar, validamos los cambios realizados en la fase de plan. Se encontró que los problemas de la industria son principalmente debido a una planificación inadecuada de la distribución de la planta. Considerando variables como la entidad por llegada, número de personal, horario de trabajo, el tiempo de proceso, y no valor de tiempo de actividad añadido, un diseño propuesto figura 28 y el valor mapa de flujo (VSM) figura 29, teniendo en cuenta fue creada. Ciertos factores no podrían haber considerado debido a restricciones de fábrica. Al colaborar con expertos en el campo, los cálculos se realizaron resulta en aumento de la productividad global de la industria.

Figura 28. Disposición propuesta

Adaptado “A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry”, por Bhat et al. (2017)

Figura 29. Mapeo de flujo de valor final

Adaptado “A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry”, por Bhat et al. (2017)

Actuar

Se recomendaron los cambios realizados en la fábrica para ser implementado de manera permanente. Se están desarrollando los procedimientos para la normalización de los cambios. Esta fase también incluye la creación de conciencia entre los trabajadores de las fábricas y todas las personas preocupadas por 5S, adecuada limpieza y técnicas Lean simples desarrollados.

2.4.6.3 Resultados y conclusiones de caso

Se realiza el análisis de los resultados obtenidos con la mejora, por ejemplo:

- Número medio de contrachapado producido por día = 150 capas / día
- N.º de horas de trabajo por día = 8 horas (8 horas = 480 minutos)
- Cantidad de contrachapado producido por minuto = $150/480 = 0,3125$ placas.
- El ahorro de tiempo debido a la modificación de diseño por hora = 4,21 minutos
- Ahorro de tiempo por día = $4,21 * 8 = 35$ minutos
- Por lo tanto, el aumento de la productividad = $0,3125 * 35 = 10,94$ placas / día.
- Por lo tanto, porcentaje de aumento en la productividad = $(100 * 11) / 150 = 7,33\%$

Se concluye que la aplicación es muy sencilla y se puede realizar económicamente, ya que no requiere de la participación de personas altamente calificadas y se necesita una sencilla formación de la mano de obra existente.

La 5S, es una herramienta de Lean, es una técnica eficaz, que sirve como puerta de entrada a la mejora continua. Los cinco pasos proporcionan una mejora inmediata mediante la creación del lugar de trabajo visual. La manufactura esbelta se centra en la sensibilización y la participación conduce a un ambiente de trabajo muy productivo. (Bhat et al., 2017, p.179)

2.4.6.4 Vinculación

El artículo presentado manifiesta como podemos abordar un problema con la metodología de lean manufacturing en la parte productiva en función al análisis del VSM y diagramas

de recorrido y conocimientos de procesos de montaje, y por los resultados ver la viabilidad de implementar la productividad de la empresa considerando el desarrollo con la mejora continua PCDA y el ciclo se repita. Por los motivos, expuestos en los artículos servirá como aporte de mejora en el capítulo 3 para optimizar los tiempos y la demanda de entrega sea la ideal por el área comercial.

3 CAPITULO 2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN

En el presente capítulo de la investigación se analiza la situación actual de la empresa, iniciándose por un resumen y análisis de los antecedentes de la industria, la descripción de la empresa y análisis de la situación actual. Posteriormente se analiza la problemática, el problema, y se identifica la causa raíz que origina el problema. Concluyéndose con el valor económico del problema identificado.

3.1 Antecedentes de la industria

3.1.1 Sector minero

El Perú cuenta con riqueza geológica, información disponible catastral y geológica de calidad, la oferta de proveedores de primer nivel y el marco jurídico promotor de la inversión privada vigente en el país, convierten al Perú en uno de los destinos más atractivos para la inversión minera en el mundo.

A nivel latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), es reflejo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas.

Por ello, la inversión en minería crecería en un 20% y superara los 5,000 millones de dólares, menciona el ministerio de energía y minas (MEM), lo cual será impulsado los cambios normativos, la simplificación administrativa y otros, y la creación de condiciones sociales en los entornos mineros para que los proyectos y las operaciones se desarrollen.

Se prevé que los presupuestos globales de exploración minera sigan en crecimiento de 6% del 2016, 7% del 2017 al 8% del 2018. Esta expansión se logrará por el positivismo de los mercados internacionales y el mayor financiamiento existente ante el aumento de los precios de los metales, entre otros (Lira Segura, Economía peruana creció 7.81% en abril y sumó 105 meses de avance seguido, 2018)

3.1.2 Sector construcción

La producción del sector Construcción se incrementó en 10.55% reflejado en el mayor consumo interno de cemento (8.17%) y avance físico de obras públicas (18.79%). El resultado positivo del consumo interno de cemento se reflejó en la continuidad de obras de construcción en unidades mineras, edificios de oficinas, centros comerciales, construcción de condominios y edificios de vivienda multifamiliar.

Igualmente, aumentó la inversión de obras públicas (18.79%) en los tres ámbitos del gobierno: Regional (63.9%), Nacional (20.6%) y Local (0.4%), principalmente en obras de construcción de edificios y servicios básicos.

Las oportunidades que ofrece nuestro país han hecho que seamos uno de los países de la región donde se observa mayor inversión en minería y construcción, con resultados destacados y presencia de empresas líderes de la minería mundial. La cartera estimada de estos proyectos mineros destaca inversiones muy importantes en Cuzco, Cajamarca, Moquegua, Tacna, Ica, Lima, Arequipa, Junín, Piura, Ancash, Huancavelica y Lambayeque (Sole, 2018).

3.2 Empresa

La empresa bajo estudio es una empresa familiar que inició sus actividades comerciales en julio de 2005 bajo el rubro de servicio de reparaciones de maquinaria pesada. En diciembre del año 2015 logra su objetivo de ampliar y fusionar la empresa en el rubro de renta de maquinaria pesada para construcción y minería. A inicios del año 2017 la empresa se reafirma como una opción de alianza para las empresas del rubro de construcción y minería para cubrir sus necesidades productivas. La empresa cuenta con una fuerza laboral de 19 personas, genera aproximadamente ventas de \$2,843,791.30 para el año 2017 y hasta el momento, para el año 2018, son de \$1,786,017.39 dólares por el giro de negocio de renta de maquinaria pesada.

La empresa, con el tiempo se ha convertido en una de las empresas líderes de la industria que apoya proyectos de construcción y minería. Se encuentra vigente en el mercado de la industria casi 13 años brindando experiencia. La empresa está catalogada como un asesor de confianza para sus clientes, al proporcionar capacidad de respuesta, brindar experiencia, confiabilidad en las operaciones y seguridad industrial.

La experiencia y confiabilidad ha hecho de La empresa una empresa sólida, llevando a cabo proyectos de gran envergadura en ubicaciones inhóspitas y de difícil acceso, climas severos y zonas de desastres naturales. La empresa opera a nivel nacional, y por ende tiene empleados capacitado y comprometidos en crear soluciones innovadoras con los estándares de alta calidad, eficiencia y servicio.

Por razones de confidencialidad se debe obviar el nombre de la empresa, datos de proveedores, clientes y datos sensibles de los equipos que la empresa tiene.

3.2.1 Misión

Brindar nuestros servicios de manera ágil y eficiente a los clientes más exigentes a través de un portafolio de equipos de alta capacidad operativa, cumpliendo siempre los más altos estándares de calidad.

3.2.2 Visión

Ser una empresa con reconocido liderazgo y prestigio en alquiler de maquinaria pesada a nivel nacional, basado en políticas de calidad, seguridad y medio ambiente.

3.2.3 Valores

Los valores de la empresa son objetividad, probidad, responsabilidad, trabajo en equipo, vocación de servicio, excelencia y respeto a la persona.

3.2.4 Organización

Actualmente, la empresa cuenta con profesionales de alta calidad y con una experiencia en el rubro. El personal con que cuenta está preparado para cubrir las mayores exigencias en calidad y seguridad, obteniendo una alta eficiencia en los plazos solicitados. El área de mantenimiento es el área seleccionada para la presente investigación. En la figura 30 se observa el organigrama de la empresa.

Figura 30. Organigrama de la Empresa

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.2.5 Servicios

La renta de maquinaria pesada en la empresa cuenta con una variedad de unidades como respaldo, y la confianza que brinda por la calidad de trabajo. La empresa realiza dos servicios los cuales son:

- Renta de maquinaria pesada para construcción y minería
 - ✓ Cargador Frontal
 - ✓ Excavadora
 - ✓ Motoniveladora
 - ✓ Retroexcavadora
 - ✓ Tractor de orugas
 - ✓ Volquete

- Reparación y mantenimiento de equipos
 - ✓ Mantenimientos preventivos PM1, PM2, PM3 Y PM4
 - ✓ Inspección, evaluación y monitoreo de maquinaria pesada
 - ✓ Reparación de motores, transmisión, bombas hidráulicas, mandos finales y coronas, sistema eléctrico, etc.
 - ✓ Asesoramiento

3.2.6 Clientes

La empresa, cuenta con una gama de clientes de diferentes niveles (como grandes, medianas y pequeñas). Actualmente, el mercado de mayor ganancia para la empresa es la renta de maquinaria pesada en el rubro de construcción y minería.

3.2.7 Proveedores

La empresa cuenta con una variedad de proveedores que soportan su gestión ante el servicio de alquiler de maquinaria pesada. La empresa genera estrategias de compras, descuentos en los repuestos y servicios con el objetivo de ser competitivos en el mercado actual. Por razones de confidencialidad, no se podrá mencionar el nombre de los clientes.

3.2.8 Participación del mercado

La empresa está proyectando estrategias de mercado para posicionarse en el alquiler de maquinaria pesada en trabajos de construcción y minería. La empresa no tiene por ahora el alcance necesario para estar dentro de los principales proveedores de alquiler de maquinaria pesada. En el mercado actual hay variedad de empresas alquiladoras de gran envergadura. A continuación, se mencionará a dos empresas que destacan por su gestión y estrategia en el mercado actual:

- Garrido, Ferreycorp logra ventas de S/ 1.231 millones en primer trimestre (2018) menciona que los tres primeros meses del 2018, las ventas de Ferreycorp y sus subsidiarias aumentaron a S/ 1.231 millones, resultado que se ve reflejado en un aumento interanual del 12%.
- Ccopa (2018) comenta que la empresa Mota-Engil gana tres contratos en Perú por un monto aproximado de US\$ 175 millones. El primer proyecto es en el Puerto de San Martín, para Terminales Portuarios de Paracas, en Ica. El segundo proyecto es la construcción de la presa Vizcachas y Bocatome Titire, para Anglo American Quellaveco, en la región de Quellaveco. Por último, ganó la construcción de la Fase 4 de la presa Las Bambas, en la región de Apurímac.

3.3 Cadena de valor

Para identificar el flujo de valor se elaboró la cadena de valor para La empresa teniendo como las siguientes actividades de soporte:

- Infraestructura de la empresa

- Administración de recursos humanos
- Desarrollo de la tecnología
- Abastecimiento
- Actividades primarias

Estas son las actividades que están directamente relacionadas con el servicio de reparación de maquinaria pesada de minería y construcción.

Además, las actividades primarias que están relacionadas directamente con el proceso productivo son las siguientes:

- Logística de entrada

Actividad relacionada con la coordinación con el cliente para el transporte de la maquinaria pesada desde la unidad minera o zona de servicio donde opera el cliente hasta las instalaciones de La empresa.

- Operaciones

Actividad relacionada con la reparación de maquinaria pesada que llegan al taller de La empresa, los equipos llevan controles por parte del personal técnico que registra todos los eventos mediante el llenado de los check list en las diferentes etapas del proceso, como en la reparación , evaluación y solicitud de repuestos , las personas encargadas del presupuesto se encargan de cuantificar el pedido de repuestos y trabajos necesarios para que un equipo pase al siguiente proceso que es la reparación previa con aprobación del cliente, los equipos que son aprobados para reparación siguen todos los procedimientos existente de la empresa.

- Logística de salida

Actividad relacionada al almacenamiento del equipo reparado, siguiendo los procedimientos de almacenaje y controles necesarios para que pueda ser entregado al área

de equipos reparados, quienes se encargaran de almacenar o despachar el equipo en las unidades que el cliente envía a las instalaciones de La empresa.

- Marketing

Actividades relacionadas a poder generar oportunidades de negocio mediante publicidad, visitas a los diferentes clientes de los sectores mineros y construcción generando cotizaciones, descuentos especiales para poder capturar equipos para reparación, renta, etc.

Actividad relacionada con los servicios técnicos post venta, reclamos, garantías, capacitaciones a los clientes, soporte técnico permanente y suministro de repuestos. En la figura 31 se resume la cadena de valor.

Figura 31. Cadena de Valor

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.4 Descripción del proceso en la empresa

En la empresa el área comercial tiene tres tipos de clientes para rentar o alquilar la maquinaria pesada para construcción y minería. A continuación, se mencionará los tipos de clientes que tiene la empresa:

- Cartera fija (clientes conocidos)
- Referidos (son los recomendados de los proyectos, construcción y minería)
- Otros (se busca por periódicos, revistas, web, etc.)

La empresa no renta equipos para licitaciones, debido a que el proceso es tedioso y complejo. En la figura 32 se visualiza que el 70% de la renta de maquinarias es por los clientes de cartera fija. Por ende, en la tesis se analizarán los equipos en reparación de los clientes de cartera fija para minimizar los tiempos de entrega en el proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento e incrementar la rentabilidad de La empresa.

Figura 32. Tipos de clientes para la renta de equipos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

El área comercial la forma de ofrecer o negociar los equipos de La empresa es por medio de paquetes los cuales están conformados por varios tipos de equipos (tractor de orugas, cargador frontal, volquete, excavadora, motoniveladora y retroexcavadora). El área de mantenimiento inicia el proceso de reparación sin considerar un paquete, sólo cuando

ingresa al taller, cada equipo genera una orden de trabajo diferente a la orden de requerimiento del cliente.

En la figura 33 se muestra el mapa de procesos en general de La empresa.

Figura 33. Mapa de procesos generales

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

El análisis de la presente investigación se realiza en el área de mantenimiento específicamente, el proceso de atención de reparaciones de maquinaria pesada, el proceso en mención tiene los siguientes subprocesos:

- Recepción
- Diagnóstico
- Presupuesto
- Compras
- Reparación

- Pruebas
- Entrega

A continuación, en la figura 34 se visualiza el mapa de procesos específicos de la reparación de maquinaria pesada.

Figura 34. Mapa de procesos específicos - Reparación de maquinaria pesada

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

El área de mantenimiento presenta el proceso de reparación de maquinaria pesada la cual es muy importante dentro de los objetivos de la empresa, debido a que el proceso si no es controlado debidamente genera retrasos de entrega de las máquinas y ello conlleva a que no se inicie el proceso de renta o alquiler de la maquinaria pesada, el resultado de no renta en el tiempo establecido por el área comercial genera sobre costo en el giro de negocio de la empresa y la mala imagen ante el cliente final.

Las máquinas que se reparan en el proceso de reparación de maquinaria pesada son los siguientes:

- Tractor de Orugas
- Cargador Frontal
- Volquete
- Excavadoras
- Motoniveladora
- Retroexcavadora

3.4.1 Proceso de reparación de la maquinaria pesada

Para verificar el proceso de reparación de maquinaria pesada, se presenta por medio del diagrama de bloques las etapas del proceso de reparación de maquinaria pesada. Las unidades ingresan a la zona de reparación cuando se habilita la orden de trabajo por parte del área mantenimiento. Por ende, se explica el siguiente proceso:

- Recepción. - La unidad ingresa a zona de recepción y se procede a llenar un formato de check list de ingreso en la cual se registra el ingreso de fechas, horómetros, proyecto, etc. Luego, ingresa a la isla 1 para retirar el barro, grasa, aceites, etc. con el objetivo de tener la unidad con la limpieza adecuada para llegar a realizar el diagnóstico óptimo.
- Diagnóstico. - El siguiente paso es revisar el historial de mantenimiento para verificar en qué estado está llegando la unidad del proyecto. El objetivo de verificar el historial de mantenimiento es delimitar que trabajos mayores se tienen que realizar. Después, se verifica la unidad realizando pruebas en la unidad para determinar si hay reparaciones adicionales que realizar. Al final se valida que mantenimientos se va a realizar como mantenimiento preventivo o correctivo.
- Presupuestos. - El técnico genera la relación de repuestos, insumos y servicios que va a necesitar para la reparación de la máquina. Luego el que valida el pedido es el jefe de mantenimiento.

- Compras. - El área realiza las solicitudes de cotizaciones de repuestos, insumos y servicios externos a proveedores locales, con tiempos estimados de entrega. Cabe mencionar que si hay repuestos por importación la compra se realiza, pero en función a tiempos establecidos por el proveedor. Luego, de validar las cotizaciones se selecciona a los proveedores generando las órdenes de compra y servicios a terceros.
 - ✓ Servicios de terceros. - El área de compras selecciona al proveedor que va a realizar el trabajo en función a precio, calidad, tiempo de entrega y soporte técnico que brinda a la empresa. Los trabajos que se destinan a terceros son servicios especializado para el apoyo en la reparación de equipos, detallando la solicitud del alcance del servicio.
 - ✓ Compras de repuestos e insumos. - Se procede a realizar las compras de repuestos e insumos especificando la cantidades y marcas requeridas.
- Reparación. - La máquina inicialmente ya se encuentra en el área de reparación. El primer paso es realizar el desmontaje de los componentes que tiene que ser reparados por terceros y por la propia empresa. El segundo paso se procede al desarme y cambio de repuestos. Posteriormente se realiza el armado del componente que fue reparado por terceros y por la propia empresa, siguiendo procedimientos y controles de montaje.
- Prueba. - Se procede a verificar las funciones del equipo, como mecánicas, eléctricas, neumáticas, hidráulicas y de controles.
- Entrega. - Se procede a trasladar la maquina al área de equipos reparados, luego se genera el llenado del check list de salida. El supervisor de operaciones da conformidad de que la unidad este en óptimas condiciones.

En la figura 35 se visualiza el proceso presentado en el diagrama de bloques.

Figura 35. Proceso de reparación de maquinaria pesada

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.4.2 Diagrama de actividades del proceso de reparación de maquinaria pesada

Por lo tanto, el diagrama de actividades del área se presenta con la finalidad de buscar e identificar las actividades que no agregan valor al proceso de reparación de componentes mecánicos, hidráulicos, electromecánicos, electrohidráulicos, etc. de la flota. En la figura 36, se visualiza el tiempo promedio del proceso de reparaciones, desde la recepción de los equipos hasta la entrega de estos a los clientes de renta es de 17.570 días, de todos los modelos que la empresa provee.

DAP		PROCESO DE REPARACIÓN							
Diagrama: N° 1		Hoja N° 1 de 1		RESUMEN					
Objeto: Proceso de la gestión de atención de reparación		Actividad		Pasos	%	Días	%		
		Demora		0	0%	0.0	0%		
Actividad: Proceso		Operación		4	57%	15.5	88%		
		Almacenaje		1	14%	0.4	2%		
Método: Actual		Transporte		0	0%	0.0	0%		
		Inspección		2	29%	1.7	10%		
Compuesto por : Miranda, Peter/Torres, Richard		Total		7	100%				
Descripción	Cantidad op por actividad	Tiempo estándar por operario (días)	Tiempo Estándar (Días)	SIMBOLOGÍA					OBS.

Recepción de equipos	1	0.315	0.315	X					
Diagnóstico de equipos	1	1.120	1.120				X		
Elaboración del Presupuesto	1	0.566	0.566	X					
Compras, elaboración de OC	1	3.488	3.488	X					
Reparación de equipos	1	11.129	11.129	X					
Pruebas de equipos	1	0.576	0.576				X		
Entrega de equipos para los siguientes clientes	1	0.375	0.375					X	
TOTAL			17.570	4	0	0	2	1	

Figura 36. Diagrama de actividades del proceso de reparación de equipos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.4.3 Maquinaria y equipos

La empresa tiene una flota variada de equipos como cargador frontal, excavadora, motoniveladora, retroexcavadora, tractor de orugas y volquete. En la tabla 17 se observa la relación de unidades de la flota de la empresa que cuenta con 48 unidades.

Tabla 17
Relación de las unidades

Item	Familia	Código Interno	Descripción	Marca	Modelo
1	RET	RETP0001	RETROEXCAVADORA	JCB	3C
2	RET	RETP0002	RETROEXCAVADORA	JCB	3C
3	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
4	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
5	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
6	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
7	TOR	TORP0005	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
8	TOR	TORP0006	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
9	TOR	TORP0007	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
10	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
11	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
12	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16
13	EXC	EXCP0001	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
14	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
15	EXC	EXCP0003	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
16	EXC	EXCP0004	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
17	EXC	EXCP0005	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
18	EXC	EXCP0006	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8
19	CFR	CFRP0001	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6
20	CFR	CFRP0002	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6
21	CFR	CFRP0003	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6
22	CFR	CFRP0004	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6
23	CFR	CFRP0005	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6
24	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5
25	MOT	MOTP0002	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5
26	MOT	MOTP0003	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5
27	VOL	VOLP0001	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
28	VOL	VOLP0002	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
29	VOL	VOLP0003	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
30	VOL	VOLP0004	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
31	VOL	VOLP0005	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
32	VOL	VOLP0006	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
33	VOL	VOLP0007	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
34	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
35	VOL	VOLP0009	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
36	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
37	VOL	VOLP0011	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
38	VOL	VOLP0012	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
39	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
40	VOL	VOLP0014	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
41	VOL	VOLP0015	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
42	VOL	VOLP0016	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
43	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
44	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
45	VOL	VOLP0019	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
46	VOL	VOLP0020	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
47	VOL	VOLP0021	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R
48	VOL	VOLP0022	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

- Cargador Frontal

Los cargadores frontales son máquinas que soportan la construcción, acarreo de material, carguío y descargue de mineral, etc. Cuenta con un cucharón o lampón que se acciona por el sistema hidráulico. Además, hay dos tipos de cargadores por el tipo de tracción (carriles y de llantas neumáticas). El implemento del cargador frontal es el cucharón, por ello hay una diversidad de lampones para distintos trabajos como: Cucharón para corta el reforzada de las canteras, cucharón con nervios y cucharon con borde de ataque en V.

Figura 37. Cargador Frontal

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

- Excavadora hidráulica

La excavadora hidráulica es una máquina que está fabricada para excavar, trabajar material suelto (batido en canteras) y cargar el material en vehículos pesados. La excavadora hidráulica está preparada para mover cualquier tipo de material, pero no puede romper rocas fijas. Por ello, cuando se encuentra un terreno con demasiadas rocas se llega a fragmentar con explosivos. La excavadora hidráulica si tiene carrilería no se puede trasladar distancias largas o prolongadas.

Figura 38. Excavadora hidráulica

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

- Tractor de orugas

Un tractor es una maquinaria especializado para trabajos de movimientos de tierra y es una máquina que se utilizada demasiado, esto se debe a la gran variedad de trabajos que puede realizar cortando, excavando y desgarrando material. El tractor de orugas cuenta con una hoja delantera que sirve para empujar, y su funcionamiento es por medio del sistema hidráulico. Para poder obtener una buena producción se requiere una adecuada relación entre la hoja topadora y la máquina. Para obtener el material adecuado, se tendría que evaluar que material se va a mover y la zona de trabajo.

Figura 39. Tractor de orugas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

- Volquete

El volquete es una máquina que sirve para trasladar el material de la zona de acarreo, zona de zarandeo, para los botaderos, etc. El volquete es una máquina que dentro del movimiento de tierra es preponderante. El volquete tiene diferente capacidad de cubillaje según el material y el trabajo a realizar. En la actualidad hay variedad de volquetes por su funcionalidad, por su capacidad, por su potencia, por el uso, etc.

Figura 40. Volquete

Adaptado de “TD MAQUINARIAS S.A.C”, por elaboración propia, 2018

3.4.3.1 Rotación de equipos

El ingreso de los equipos se da de acuerdo con los contratos de renta, los que pueden ser de 3 meses como mínimo a 1 año como máximo. El tiempo de estudio de esta investigación es el año 2017 completo y los meses de enero a julio del año 2018. A continuación, en la figura 68 se observa la rotación de cada uno de los modelos de las 48 unidades de la flota en el taller, en la figura 41 se observa el consolidado bajo el mismo periodo de estudio.

Figura 41. Rotación por modelo en taller

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 42, se muestra que, por ejemplo, el modelo FMX 6x4 R, lo cual corresponde a los volquetes marca VOLVO en el mes de octubre del año 2017 ingresaron a taller 6 unidades, así como en el mes de enero del año 2018, por otro lado, el modelo PC 350LC-8, lo cual corresponde a la excavadora marca KOMATSU, ingresaron 2 en el mes de setiembre de 2017 y por la misma cantidad en el mes de enero de 2018. Dos unidades del modelo WA470-6, cargador frontal marca Komatsu, por ejemplo, también permanecieron en taller en el mes de setiembre, y para los meses de mayo y diciembre de 2017, 1 unidad, así como, en los meses de enero, marzo, mayo y junio de 2018.

Figura 42. Rotación por modelo en el taller acumulado (2017-2018)

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 43, se visualiza que los volquetes marca VOLVO son de mayor rotación, por lo que los contratos de renta por mes de cada uno de los modelos se muestran en la figura 44:

Figura 43. Promedio de contratos mensual por modelo

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 44, se visualiza el modelo WA470-6, cargador frontal, marca Komatsu, son los que se contratan por periodos más largos, como un promedio de 8 meses por contrato, por lo tanto, al comparar con la figura 13, son los de menor ingreso. Por el contrario, el FMX 6x4 R, volquete marca Volvo, tiene mayor rotación de contratos, las 22 unidades, se contratan por 51 veces para el periodo bajo estudio, siendo en el año 2017 se alquilaron 31 veces y lo que va del año 2018, se alquilaron 13 unidades. A continuación, en la figura 44 se muestra el promedio mensual de los contratos por cada uno de los modelos.

Figura 44. Promedio de contrato por mes de cada modelo (2017-2018)

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 45 se visualiza el ingreso al taller que se genera por 72 mantenimientos preventivos y 39 correctivos. Sin embargo, cuando ingresa por correctivos, también se realiza un preventivo y viceversa.

Figura 45. Mantenimientos preventivos y correctivos (2017-2018)

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Los meses con mayor cantidad de ingresos por preventivos, es decir al término del contrato, es de 7 unidades para los meses de octubre de 2017 y enero y abril del año 2018. Y el mes con ingresos por correctivos es de 6 unidades en el mes de enero de 2018.

3.4.3.2 Análisis de ventas y compras

En la figura 46 se observa las ventas para el año 2017 fue de US\$ 2,843,791.30 y para el año 2018 hasta el mes de julio fue de US\$1,786,017.39, siendo un total de US\$4,629,808.70 para el periodo bajo estudio. Los costos que incluyen planillas, repuestos, costos de uso de planta y equipos es un total de US\$ 2,332,046.09, equivalente al 50.37 % de las ventas, como se observa a continuación:

Figura 46. Ventas – Costos 2017-2018

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 46, se muestra que al término de los contratos se contabiliza las ventas. Por ejemplo, en el mes de setiembre, en el momento de ingreso al taller, se ha vendido un total de US\$ 739,826.09, al compararse con los costos, se visualiza que incrementan de acuerdo con el total mensual de las ventas.

3.5 Diagnóstico de la situación actual

La empresa presenta en el último año la demora de entrega de equipos a sus clientes, lo que conlleva a la insatisfacción de los clientes de cartera fija. Asimismo, la demora de reparación de equipos ha generado impacto económico en horas hombre y pérdidas por no rentar las unidades en el tiempo establecido.

Estos tiempos de respuesta repercuten en pérdidas para La empresa, ya sea en el exceso de horas extras del personal para cumplir la necesidad de entrega en la fecha coordinada, costo latente de las maquinas por no rentar en la fecha prevista, el sobre costo de servicio de empresas terceras, personal de proyecto sin trabajo, equipos que se deprecian, etc. El resultado de la demora ante el cliente tiene como implicancia la no confiabilidad de alquilar equipos a La empresa.

Los tiempos solicitados del área comercial (T.S.A.C.) versus los tiempos de respuesta del área de mantenimiento (T.R.A.M), en la figura 47 se visualiza que hay una diferencia con respecto a la atención o a la disponibilidad de los equipos a entregar en la fecha solicitada por el área comercial. El tiempo promedio que atiende el área de mantenimiento en el año 2017 es de 17 días en comparación al tiempo promedio que solicita el área comercial de 14 días.

Figura 47. T.R.A.M vs T.S.A.C

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.6 Identificación de problemas

La empresa en la actualidad se presenta al mercado como una nueva opción de alquiler de maquinaria pesada. Hoy en día el rubro de alquiler de maquinaria pesada es un negocio donde varias empresas visualizan el crecimiento a corto, mediano y largo plazo en el Perú.

El crecimiento global que se está presentando en el mercado actual y la inversión de los clientes en la minería y construcción, proyecta a la empresa a uno de los grandes retos fue consolidarse con una alta mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de sus equipos que brindan servicio de alquiler de maquinaria pesada.

El problema identificado fue la demora en la entrega, por la demora en el taller y la diferencia de los días TRAM y TSAC. El total de días de cada actividad muestra que la actividad de reparación es la que mayor tiempo toma el 63% (que equivale a 1235.29 días) del proceso, como se observa a continuación en la figura 48:

Figura 48. El total de días para cada actividad del proceso (2017-2018)

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En consecuencia, la demora en la entrega se observa en la figura 49 que se mencionará a continuación:

Figura 49. La frecuencia de equipos entregados con demora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 49, se muestra que la demora se da mensualmente comparándose a las entregas a tiempo. Las entregas con demora representan a 94 unidades mientras que 17 unidades se entregaron a tiempo, en el periodo bajo estudio, equivalente al 84.68% y 15.32% respectivamente, de los 111 procesos. Se visualiza que la entrega con demora tiene una tendencia a incrementar y la tendencia de las entregas sin demora es constante. También se observa que, en los meses de enero, febrero, marzo, mayo del año 2017 y de los meses febrero, abril y julio no hay unidades que se hayan entregado a tiempo. La demora en el proceso genera colas, como se observa en la figura 50 que se menciona a continuación:

Descripción	Cantidad op por actividad	Tiempo estándar por operario (días)	Tiempo Estándar (Días)				
					Análisis de colas	En espera (actividades precedentes)	Tiempo en espera
Recepción de equipos	1	0.315	0.315	O			
Diagnóstico de equipos	1	1.120	1.120	I	0.805		
Elaboración del Presupuesto	1	0.566	0.566	O	-0.554	6.000	3.398
Compras, elaboración de OC	1	3.488	3.488	O	2.922	3.000	10.465
Reparación de equipos	1	11.129	11.129	O	7.641		
Pruebas de equipos	1	0.576	0.576	I	-10.553		
Entrega de equipos para los siguientes clientes	1	0.375	0.375	A	-0.200		
TOTAL			17.570				

Figura 50. Análisis de colas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 50, se visualiza que se generan colas en las actividades de compras y reparación de equipos, es decir la actividad de elaboración del presupuesto, cuando ingresa a compras hay 6 procesos en cola y de compras a reparación, hay 3 procesos en cola, como se observa a continuación en la figura 51, de manera gráfica.

Figura 51. Gráfico de colas en el proceso de reparación

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 51, se visualiza de manera gráfica la espera de los procesos para ingresar a compras y a reparación mientras que hay un proceso en ejecución en cada una de las actividades.

Para determinar el valor no agregado al proceso como cuello de botellas, se ha calculado el Tiempo Takt con un doble turno de 15 horas, equivalente a 0.9375 días entre 0.19 procesos por día, calculándose un tiempo takt de 4.84 días/proceso. Al analizar por medio de la herramienta VSM, se determina que la actividad propia de reparación de equipos tiene cuello de botella, el promedio de tiempo del ciclo de la actividad es de 11.129 días con una cuadrilla de 8 mecánicos que es mayor que el takt time, por lo que existe un valor no agregado en dicha actividad. A continuación, en la figura 52 se observa el VSM actual de La empresa.

Figura 52. VSM Actual

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, se debe determinar si el proceso se encuentra dentro o fuera de control estadístico. Se ha calculado las estadísticas de los 111 procesos del periodo bajo estudio que incluyen promedio, desviación estándar y los límites de control superior e inferior, como se muestra en la tabla 18:

Tabla 18
Estadísticas para el diagrama de control

Total días	1950.269
Promedio días	17.570
Desv. Std	5.12666845
UCL	22.697
LCL	12.443

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Se ha calculado un límite superior de 22.697 días y el límite inferior de 12.443 días, rango en el cual se incluye el promedio TSAC de 14 días. En la figura 53, se visualiza el proceso que se encuentra fuera de control estadístico.

Figura 53. Diagrama de control del proceso de reparación

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.7 Impacto económico

En la tabla 19 se visualiza, la demora en la entrega equivale a un total de US\$455,011.33 equivalente al 10% de las ventas de US\$ 4,629,808.70, como se observa a continuación:

Tabla 19
Ventas versus costos por demora en la entrega

Año	Mes	Venta	Pérdida por demora	Costo por demora HH	Costo de planta por demora HP	% Costos por demora/ventas
2017	Ene	\$ 126.260,87	\$ 8.800,00	\$ 6.811,92	\$ 1.475,30	14%
	Feb	\$ 97.043,48	\$ 4.288,00	\$ 3.673,85	\$ 1.032,71	9%
	Mar	\$ 185.530,43	\$ 11.584,00	\$ 9.337,69	\$ 2.360,48	13%
	Abr	\$ 116.347,83	\$ 2.416,00	\$ 4.898,46	\$ 1.032,71	7%
	May	\$ 99.339,13	\$ 6.272,00	\$ 8.878,46	\$ 2.065,42	17%
	Jun	\$ 233.530,43	\$ 13.232,00	\$ 15.001,54	\$ 3.540,72	14%
	Jul	\$ 173.634,78	\$ 4.352,00	\$ 12.016,54	\$ 2.508,01	11%
	Ago	\$ 401.321,74	\$ 13.296,00	\$ 16.685,38	\$ 3.835,78	8%
	Set	\$ 739.826,09	\$ 18.592,00	\$ 19.058,08	\$ 4.278,37	6%
	Oct	\$ 450.365,22	\$ 16.776,00	\$ 24.033,08	\$ 5.311,08	10%
	Nov	\$ 91.200,00	\$ 3.296,00	\$ 6.429,23	\$ 1.180,24	12%
	Dic	\$ 129.391,30	\$ 10.336,00	\$ 14.236,15	\$ 3.098,13	21%
2018	Ene	\$ 428.034,78	\$ 21.408,00	\$ 28.013,08	\$ 6.343,79	13%
	Feb	\$ 273.078,26	\$ 15.560,00	\$ 15.843,46	\$ 2.950,60	13%
	Mar	\$ 346.956,52	\$ 8.912,00	\$ 11.863,46	\$ 2.803,07	7%
	Abr	\$ 353.947,83	\$ 11.792,00	\$ 15.384,23	\$ 3.540,72	9%
	May	\$ 190.330,43	\$ 2.304,00	\$ 5.434,23	\$ 1.327,77	5%
	Jun	\$ 170.295,65	\$ 4.544,00	\$ 4.515,77	\$ 1.327,77	6%
	Jul	\$ 23.373,91	\$ 512,00	\$ 1.683,85	\$ 2.928,20	22%
Total		\$ 4.629.808,70	\$ 178.272,00	\$ 223.798,46	\$ 52.940,87	10%

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

En la tabla 19, se ha calculado la pérdida por demora, es decir el tiempo de demora que el equipo está en el taller y se pierde dinero por tenerlo en servicio después de la fecha programada en lugar de tenerlo operando, multiplicado por la tarifa por hora de cada uno de los equipos y en total en el periodo bajo estudio es de US\$178,272.00 como se visualiza en la tabla 20.

Tabla 20
Calculo por perdida por demora

T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimi ento) días	T.S.A.C (Tiempo solicitado por el área comercial) días	Diferencia entre TRAM y TSAC	Horas por doble turno	Tarifa por hora	Pérdida por demora
17.642	13	5	80	\$ 55.00	=AC4*AB4
12.409	9	3	48	\$ 55.00	\$ 2,640.00

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

El costo por demora HH se refiere al uso de recursos humanos por el tiempo de demora, ya que es un costo oculto que, aunque se pague el sueldo a los operarios y no se permite el sobretiempo, los plazos se alargan, y por ello, el tiempo por demora es un costo de la muda como parte del tiempo de espera:

Tabla 21

Calculo de costo por demora HH

T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimi ento) días	T.S.A.C (Tiempo solicitado por el área comercial) días	Diferencia entre TRAM y TSAC	Horas por doble turno	Jefe taller	Mecánicos	Costo por demora HH
17.642	13	5	80	1	8	\$G\$15*AB4
12.409	9	3	48	1	9	\$ 2,296.15

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Se multiplican los operarios que se asignan por cada servicio que ingresa al taller por el tiempo de demora por el promedio de salarios de US\$4.78. El total para el periodo bajo estudio es de US\$223,798.46 como se observa en la tabla 21.

Por último, el costo de demora por uso de planta u horas planta, primero se calcula el costo por día, ya que es variado como se observa en la tabla 22:

Tabla 22
Cálculo de costo por día en planta

T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimi ento) días	Costo total por mantenimi ento de equipos HP (horas planta, incluye máquinas)	Costo de planta HP dentro de las horas programadas	Costo de planta por demora HP	Variación de costo de planta por trabajo
17.642	\$ 2,988.91	\$ 2,141.81	\$ 847.10	=AJ4/Y4
12.409	\$ 2,018.82	\$ 1,594.07	\$ 508.26	\$ 162.69

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Luego, se calcula el tiempo que el vehículo se encuentra en taller, después de la hora programada, como se muestra en la tabla 23, y el total del costo de planta por el periodo bajo estudio es de US\$52,940.87.

Tabla 23
Cálculo de costo de planta por demora HP

T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimi ento) días	T.S.A.C (Tiempo solicitado por el área comercial) días	Diferencia entre TRAM y TSAC	Costo de planta por demora HP	Variación de costo de planta por trabajo
17.642	13	5	=AA4*\$AM\$4	\$ 168.66
12.409	9	3	\$ 505.98	\$ 154.60

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Los costos por tiempo de espera (demora) se deben reducir ya que es un despilfarro, considerado como MUDA y valor no agregado, que por la metodología Lean

Manufacturing, son estos, los que originan costos ocultos, costos que no se reflejan en contabilidad, son los que se deben reducir. Estos costos se consideran como costos ocultos o costos de valor no agregado en el proceso. Identificándose la muda de tiempo de espera originado por las demoras que a la vez se originan por las colas y cuellos de botella.

En la figura 54 se observa que el mes de mayor venta, setiembre de 2017, fue de US\$739,826.09 registró únicamente un costo por demora del 6%, sin embargo, por ejemplo, en el mes de julio de 2018 con una venta registrada de US\$23,373.91 registró un impacto económico de 11%. Por lo que cuando las ventas son menores, la reparación se demora más y los costos son mayores que cuando las ventas se incrementan, como se observa de manera gráfica a continuación:

Figura 54. Ventas vs. Costos por demora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.8 Análisis de las causas

3.8.1 El análisis de causa raíz con Pareto

Para el análisis de causas del problema de demora en la entrega por colas en la actividad de reparación de equipos, se determinó que el 58.06 % se enfoca en la causa de primer nivel

método es decir un proceso deficiente de atención de las reparaciones, para ello se realizó un algoritmo para poder determinar las causas de primer nivel, como se observa a continuación:

En la tabla 24 se visualiza que primero se determinó la demora en la entrega del servicio, lo cual se determina si la diferencia del tiempo real de reparación y el tiempo programado es mayor que cero.

Tabla 24
Determinación del problema

Diferencia entre TRAM y TSAC	Horas por doble turno	Reparación 1	Sistema 1	Reparación 2	Sistema 2	Reparación 3	Sistema 3	Reparación 4	Sistema 4	Reparación 5	Sistema 5	Reparación 6	Sistema 6	Reparación 7	Sistema 7	Problema
5	80	Desn Motc	Camí Motc	Camí Motc	Camí Motc	Camí Eléctrico										Demora en el tiempo de entrega de los equipos
3	48	Desn Hidr	Camí Tren	Refu Elem	Mont Hidr	Camí Hidráulico										Demora en el tiempo de entrega de los equipos
2	32	Desn Motc	Camí Motc	Camí Eléctrico												Demora en el tiempo de entrega de los equipos
3	48	Camí Fren	Camí Direc	Camí Motc	Camí Trans	Regu Frenos										Demora en el tiempo de entrega de los equipos
4	64	Desn Hidr	Camí Tren	Refu Elem	Mont Hidr	Camí Hidráulico										Demora en el tiempo de entrega de los equipos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En segundo lugar, en la tabla 25 se observa, las causas que la empresa entregó fueron las de segundo nivel como se observa a continuación, para los diferentes modelos, los que se muestran son para los volquetes y tractores de orugas:

Tabla 25
Registro de causas brindadas por la empresa

Causa 1	Subcausa 1	Subcausa 2
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente Cambio de batería Deficiente Cambio de modulador de Frenos	Ditribución inadecuada de las zonas de repración Falta de inspección de calidad
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente Cambio de manguera Hidráulico del ripper Deficiente Cambio de los jebes del radiador	Falta de inspección de calidad Obsolescencia de repuestos y herramientas
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente Cambio de motor hidráulico Deficiente Desmontaje de la consola de la cabina	Falta de control y planificación de reparación Falta de disponibilidad de equipos / herramientas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Para determinar la causa raíz, se ha compilado las sub-causas entregadas por la empresa y lo cual se ha determinado la posible causa raíz que se ve plasmado en la tabla 26.

Tabla 26
Resultado de compilación sub causa 2 y causa raíz

Actividad	Sub causa 2 (provista por la empresa)	Causa Raíz
Reparación	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estándar
	Falta de capacitación	Operario sin experiencia
	Falta de disponibilidad de equipos / Herramientas	Equipos / herramientas dañadas y fuera de servicio
	Obsolescencia de repuestos y herramientas	Vida útil cumplida
	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estándar
	Falta de inspección de calidad	Falta de procedimientos estándar

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Para lo cual se ha ingresado un algoritmo de búsqueda e ingresar la causa raíz, como se observa a continuación en la tabla 27:

Tabla 27
Identificación de la causa raíz

Causa 1	Sub causa 1	Sub causa 2	Causa Raíz
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS	Deficiente cambio de batería	Falta de inspección de calidad	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente Cambio de modulador de Frenos	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS	Deficiente Cambio de manguera Hidráulico del ripper	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente Cambio de los jebes del radiador	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación de la MOTONIVELADORA	Deficiente Cambio de manguera hidráulica de la hoja topadora	Obsolescencia de repuestos y herramientas	Vida útil cumplida
Demora en la reparación del TRACTOR DE ORUGAS	Deficiente cambio de control de válvulas del motor de rotación	Falta de capacitación	Operario sin experiencia
Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente desmontaje del cable principal	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente cambio de accesorios del cilindro de levante de tolva	Falta de disponibilidad de equipos / herramientas	Equipos / Herramientas dañadas y fuera de servicio
Demora en la reparación del CARGADOR FRONTAL	Deficiente estructura	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estandar
Demora en la reparación del VOLQUETE	Deficiente cambio de gomas de suspensión	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estandar

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Si la sub-causa 2, no tiene ingreso, es que no tiene el problema en la demora, y si tiene un elemento buscará en las columnas Sub-causa 2 y causas raíz, ingresando los valores de causa raíz.

Posteriormente, la tabla 28, se expande a las causas de primer nivel (5M) y se evalúa de igual manera que el proceso anterior para la causa raíz en la tabla 24:

Tabla 28
Compilado de las causas de primer nivel

Actividad	Sub causa 2 (provista por la empresa)	Causa Raíz	5 M
Reparación	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estándar	Método
	Falta de capacitación	Operario sin experiencia	Mano de obra
	Falta de disponibilidad de equipos / Herramientas	Equipos / herramientas dañadas y fuera de servicio	Maquinaria
	Obsolescencia de repuestos y herramientas	Vida útil cumplida	Maquinaria
	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estándar	Método
	Falta de inspección de calidad	Falta de procedimientos estándar	Método

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Si la sub-causa 2, no tiene ingreso, es que no tiene el problema en la demora, y si tiene un elemento buscará en la tabla 29 de las columnas Sub-causa 2 y 5M, ingresando los valores de las causas de primer nivel.

Tabla 29
Identificación de la causa de primer nivel según base de datos

Subcausa 1	Subcausa 2	Causa raíz	Causa primer Nivel
Deficiente cambio de batería	Distribución inadecuada de las zonas de reparación	Falta de procedimientos estándar	Método
Deficiente cambio de modulador de Frenos	Falta de inspecciones de calidad	Falta de procedimientos estándar	Método
Deficiente cambio de manguera Hidráulico del ripper	Falta de inspecciones de calidad	Falta de procedimientos estándar	Método
Deficiente Cambio de los jebes de radiador	Obsolescencia de repuestos y herramientas	Vida Útil cumplida	Maquinaria
Deficiente cambio de batería	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estándar	Método
Deficiente desmontaje de la consola de la cabina	Falta de disponibilidad de equipos/herramientas	Equipos/herramientas dañados y fuera de servicios	Maquinaria
Deficiente cambio de accesorios del cilindro split	Falta de control y planificación de reparación	Falta de procedimientos estándar	Método
Deficiente Estructura	Falta de capacitación	Operario sin experiencia	Mano de obra

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Este procesamiento de la base de datos origina los siguientes diagramas de Pareto, de tal forma que se contabilice la frecuencia de ocurrencia de cada una de ellas. En la figura 55

se observa que el 58.06% de la demora se origina por el método en el trabajo, es decir una falta de procedimiento estándar en la reparación de equipos pesados.

Figura 55. Causas de primer nivel

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, son las actividades del proceso de reparación de maquinaria pesada, lo cual se determinó que la causa es la deficiencia en la actividad de reparación con el 73%. Como se observa en la figura 56 que se menciona a continuación:

Figura 56. Deficiencia en las actividades

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En consecuencia, se determina que principalmente es la deficiencia en la reparación del volquete y del tractor de orugas como se visualiza en la figura 57. Es decir que, es la deficiencia de estas subactividades que generan el retraso en la entrega de los equipos.

Figura 57. Deficiencia en las actividades de reparación

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

La deficiencia en la reparación de los volquetes se genera por:

- Deficiente cambio de gomas de suspensión RH/LH
- Deficiente cambio de los jebes del radiador
- Deficiente mantenimiento preventivo de 500 horas
- Deficiente cambio de accesorios del cilindro split
- Deficiente desmontaje de cilindro de levante
- Deficiente desmontaje de la consola de la cabina
- Deficiente cambio del regulador de presión de escape
- Deficiente cambio de zapatas de Frenos del 2do eje RH/LH

Y la deficiencia en la reparación del tractor de orugas se genera por:

- Deficiente cambio de zapatas de cadena
- Deficiente cambio de batería

Como se muestra a continuación en la figura 58 y la figura 59:

Figura 58. Deficiencia en la reparación de volquetes

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Figura 59. Deficiencia en la reparación de tractor de orugas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Y, por lo tanto, la deficiencia en cada una de las actividades en la reparación de volquetes y tractores de oruga, se origina por la falta de un procedimiento estándar de reparación de los equipos, ya que el tiempo de demora se origina por las deficiencias en el método y como consecuencia de los reprocesos que se dan en la actividad de reparación, ya que por ejemplo, el deficiente cambio de gomas de suspensión RH/LH, origina un tiempo determinado de reprocesos, para volver realizar dicha actividad y como se visualiza en la figura 60 es la falta del procedimiento estándar.

Figura 60. Identificación de las causas raíz

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Siendo las causas raíz al 80%:

- Falta de procedimientos estándar
- Equipos/herramientas dañados y fuera de servicio

3.8.2 Mostrar árbol de problemas y de objetivos

Se concluye que la causa raíz en el proceso es el deficiente proceso de gestión de calidad en la actividad de reparación como se visualiza en la figura 61.

Figura 61. Árbol de problemas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.8.3 Vinculación de causa con solución

A continuación, se muestra en la figura 62 el diagrama de la relación de problema – solución:

Figura 62. Relación Problema – Solución

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

3.9 Objetivo general

Elaborar la propuesta de mejora del proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento en una empresa de renta de maquinaria para construcción y minería utilizando las herramientas de Lean Manufacturing con el propósito de reducir la demora en la entrega en la actividad de reparación.

3.10 Hipótesis

La implementación de las herramientas de Lean Manufacturing mejora el proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento en una empresa de renta de maquinaria para construcción y minería reduciendo la demora en la entrega en la actividad de reparación e incrementando el nivel de cumplimiento de entrega.

3.11 Indicadores actuales

A continuación, en la tabla 30 se muestra los indicadores que deben mejorarse con la implementación de la mejora:

Tabla 30

Indicadores actuales

Indicadores	Actual	Unidades	Objetivo	Objetivo
Nivel de cumplimiento de entrega	15%	porcentaje	incrementar	95%
Suma de días de demora	341,00	días	reducir	20%

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

4 CAPITULO 3. PROPUESTA DE MEJORA

En el presente capítulo se elabora el desarrollo de la propuesta de mejora por la demora en la entrega de los equipos pesados en el proceso de reparación. La implementación de las herramientas de Lean Manufacturing mejora el proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento en una empresa de renta de maquinaria para construcción y minería reduciendo la demora en la entrega en la actividad de reparación e incrementando el nivel de cumplimiento de entrega. La causa raíz es la falta de procedimientos estándar y equipos / herramientas mal planeamiento del proceso de reparación el cual incurre en la demora de la entrega de los equipos pesados.

4.1 Relación de causas y soluciones

Para vincular las causas y solución se debe reunir el hallazgo en el capítulo anterior, en donde se determinó que el problema se encuentra en la demora de la entrega de equipos por el deficiente planeamiento del proceso de reparación, el cual da como consecuencia la pérdida de utilidades (impacto económico de \$ 455,011.33 equivalente al 10 % de las ventas).

Las causas que originan la demora en la entrega de los equipos son por la falta de procedimientos estándares y los equipos y/o herramientas se encuentran dañadas y fuera de servicio. Para ello, de acuerdo con la información que se indica en el capítulo 1, se ha hallado que las herramientas de Lean Manufacturing, reduce el tiempo de entrega al solucionar los problemas de tiempo, en cuanto a operarios y equipos atendidos. Para ello, se va a solucionar aplicando el balance de línea y Heijunka para estandarizar el proceso y de tal forma se reduce el tiempo de demora en la reparación como se visualiza en la tabla 31.

Tabla 31
Relación de Problema y Solución

Problemas	Objetivos	Impacto
Demora en el planeamiento de reparación	Elaborar la propuesta de mejora del proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento en una empresa de renta de maquinaria para construcción y Dáería utilizando las herramientas de Lean Manufacturing con el propósito de reducir la demora en la entrega en la actividad de reparación.	La demora en la entrega de los equipos pesados se generan por la demora en la línea de reparación generando colas, lo cual genera un impacto económico que incluye costos de producción, reprocesos, tiempo de espera (cuellos de botella) es de \$455011,33 equivalente al 10% de las ventas de \$4629808,7
Causas Raíz	Metodología Lean Manufacturing	Solución
Falta de procedimientos estándar	Heijunka (producción)	Planeamiento de reparación de equipos pesados estandarizado por medio de las herramientas Heijunka y Balance de Línea de la metodología Lean Manufacturing
	✚ Balance de Línea (operarios)	
	≡ Trabajo estandarizado	
Equipos/herramientas dañados y fuera de servicio	Se ingresa como un cuadro de decisión en el proceso de reparación	

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

A continuación, en la figura 63 se observa de manera gráfica la relación de problema, efecto (consecuencia, causas y herramientas de solución). Se ha seleccionado Heijunka y Balance línea, ya que no se tiene un método estándar de trabajo, y estas herramientas proceden a gestionar y administrar el tiempo de cada actividad, así como la cantidad y locación de operarios requeridos para reducir el tiempo de desperdicio, disminuyendo así la demora en la entrega de equipos por el deficiente planeamiento de reparación.

Figura 63. Relación de problema y solución

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

La demora en la entrega de equipos se origina por la deficiencia en la actividad de reparación teniendo como resultado la demora en el mal planeamiento y como consecuencia el incremento de gastos en el proceso de reparación.

4.2 Diseño de la propuesta

Como se ha explicado en el capítulo 1, las diferentes herramientas para la solución de cuellos y colas que originan los reprocesos de la reparación y así tiene como resultado los reprocesos, se ha resumido las diferentes metodologías y herramientas que pudieran tener una solución al problema expuesto en la presente investigación.

Para ello se ha realizado una matriz de relación, entre los artículos y los problemas, indicando los factores requeridos para la solución, se ha analizado tres metodologías que se

enfocan en el proyecto por medio de la calidad como ISO 9001, TQM (Gestión de la calidad total) y Lean Manufacturing. Se han determinado los factores de evaluación de cada una de las metodologías de acuerdo con el problema, las causas y los criterios que se incluyen en la demora propia de la entrega de los equipos y por ende la demora en el mal planeamiento de la reparación.

Problema	Demora en la entrega de equipos
Causa	Deficiente planeamiento del proceso de reparación (método)
Actividad Reparación	Colas Cuellos de Botella
Herramientas	
Debe solucionar	Nivelación de operarios Nivelación de equipos
Para	Reducir tiempo
Solución	Estandarización del planeamiento del proceso de reparación
Criterios de la solución	Fácil estandarización (FE): Una estandarización que se acople al proceso, incrementando valor en cada una de las actividades Fácil implementación (FI): Una implementación suave, sin trabas, sin detención del propio proceso de producción Pocos recursos (PR): Es una limitación que impone la empresa bajo estudio, ya que sus ventas no permiten una alta inversión en recursos humanos, financieros y tecnológicos Pocos procesos (PP): Una implementación que no se haga notar, que sea transparente y ligera de tal manera que no afecte la producción diaria de la empresa.

Figura 64. Selección de criterios

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Como se visualiza en la figura 64, para la selección de los criterios de acuerdo con el problema y la causa raíz, se determinaron 4 criterios que deben buscarse en la metodología que se seleccionará, las que son, fácil estandarización del proceso de mejora, fácil implementación del proceso de mejora, la utilización de pocos recursos y que los costos de estos no sean mayores a lo que ya se tienen comparándose a los ahorros, y por último la estandarización de pocos procesos o actividades en cada proceso, es decir que no se incrementen, también para evitar el incremento de un costo que en el tiempo después no se podrá identificar por la propia implementación. Después de haber seleccionado los criterios

de análisis, se identificó estos criterios en cada una de las metodologías de forma bibliográfica, como se observa en la tabla 32 a continuación:

Tabla 32
Selección de metodología

Metodología	Autores	FE	FI	PR	PP
ISO	<ul style="list-style-type: none"> • Helgi Thor Ingason • Basak Manders, Henk J. de Vries, Knut Blind • Pavel Castka • Pavel Castka, Michaela A. Balzarova • J. G. Sanz-Calcedo, A.G. González, O. López, D.R. Salgado, I. Camberob, J.M. Herrera 	SÍ	NO	NO	NO
Lean	<ul style="list-style-type: none"> • Ashish Thakur • Martin Kurdve a,b,*, Mats Zackrisson a, Magnus Wiktorsson b, Ulrika Harlin • William G. Sullivan, Thomas N. McDonald, Eileen M. Van Aken • Andreas Huettner a, Suzanne de Treville a, Annvan Ackere a, Leonard Monnier a, • Johann Prenninger • Ivica Vezaa*, Nikola Gjelduma, Marko Mladineoa • P. Arunagiria and A.Gnanavelbabub • Sherif Mostafaa*, Jantane Dumrakb and Hassan Soltanc • R.Sundara, A.N.Balajib*, R.M.SatheeshKumar c • Esra Kurt Tekez*, Gökhan Taşdeviren • Henri Tokola n, Esko Niemi, Pekka Kyrenius • Rakesh Kumar* and Vikas Kumar 	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
TQM	<ul style="list-style-type: none"> • Changiz Valmammadia, Shervin Roshanzamir • Ionela Adriana Tiscea, Georgica Cornua, Nicolae Diaconu, Constantin Dan Dumitrescu • Andrei Ioan Hohana, Marieta Olarub, Ionela Carmen Pirneac 	SÍ	SÍ	No	No

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, de acuerdo con el método bibliográfico se ha determinado que la que se implementaría es la metodología Lean Manufacturing, sin embargo, se debe llevar a una toma de decisiones científica, utilizando la metodología Analytic Hierarchy Process – AHP (Proceso Jerárquico Analítico) que se visualiza en la tabla 33.

Tabla 33
Criterio de acuerdo con la importancia de relación

En donde	Definición	Descripción
1	Igualmente preferible	Dos metoologías contribuyen por igual al objetivo
2	Valor intermedio	
3	Moderadamente preferible	Experiencia y juicio ligeramente en favor de una metodología
4	Valor intermedio	
5	Fuertemente preferible	Experiencia y juicio fuertemente o esencialmente en favor de una metodología
6	Valor intermedio	
7	Muy fuertemente preferible	Una metodología se favorece fuertemente en favor de una metodología y es de alto grado posible de información
8	Valor intermedio	
9	Extremadamente preferible	La evidencia en favor de una metodología sobre la otra es del más alto grado posible de afirmación

Adaptado de “Aragonés-Beltrán, Chaparro-González, Pastor-Ferrando, y Pla-Rubio, 2014”, por elaboración propia, 2018

Para ello, se debe relacionar cada una de las metodologías y proveer un peso, de acuerdo como la tabla 34 indicada por dicha metodología AHP, como se observa a continuación:

Tabla 34
Peso de la relación entre metodologías

Relación		FE	FI	PR	PP
ISO	ISO	1	1	1	1
ISO	Lean	2	3	5	4
ISO	TQM	4	1	6	5
Lean	ISO	7	6	8	7
Lean	Lean	1	1	1	1
Lean	TQM	9	7	4	8
TQM	ISO	6	5	4	5
TQM	Lean	5	7	3	6
TQM	TQM	1	1	1	1

Adaptado para la “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 34, se observa que la relación entre la misma metodología es 1 por lo que es lo mismo, luego por ejemplo, la relación entre ISO y Lean, los pesos para cada uno de los criterios, se favorece a ISO por la estandarización que representa y el alto nivel que genera tener una certificación ISO, sin embargo al comparar Lean con las otras dos metodologías, se ha dado un peso mayor por el simple hecho que se indica en la tabla 33, que satisface los 4 criterios que se han establecido. Al igual que TQM, tiene mayor valor en la relación de los dos primeros criterios de acuerdo con la tabla 33, y los otros dos son menores. Al implementar la herramienta AHP, se estableció que son tres metodología y 4 criterios. Sin embargo, para determinar que los pesos dados en la tabla 35 no son imparciales, se debe calcular la relación de consistencia (CR), cuyo valor debe ser menor a 0.1 para aseverar que los pesos dados son correctos e imparciales y se ha determinado por un análisis profundo de la bibliografía. Estos cálculos se realizan para las metodologías para cada uno de los criterios y luego para los criterios, como se observa en la tabla 35 a continuación:

Tabla 35
Análisis de AHP

Comparación de Alternativas con Criterios				Comparación Pares			Normalización de Tabla									
Fácil Estandarización (FE)																
Alternativas	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	Total	Promedio	Consistencia				
ISO	1.00	2.00	4.00	1.00	0.29	0.67	0.17	0.16	0.19	0.51	0.17	3.00				
Lean	7.00	1.00	9.00	3.50	1.00	1.80	0.58	0.54	0.52	1.65	0.55	3.01				
TQM	6.00	5.00	1.00	1.50	0.56	1.00	0.25	0.30	0.29	0.84	0.28	3.01				
Total				6.00	1.84	3.47					CI	0.00				
											RI	0.58				
											CR	0.01				
Fácil implementación (FI)																
Alternativas	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	Total	Promedio	Consistencia				
ISO	1.00	3.00	1.00	1.00	0.50	0.20	0.13	0.20	0.09	0.42	0.14	3.04				
Lean	6.00	1.00	7.00	2.00	1.00	1.00	0.25	0.40	0.45	1.10	0.37	3.09				
TQM	5.00	7.00	1.00	5.00	1.00	1.00	0.63	0.40	0.45	1.48	0.49	3.15				
Total				8.00	2.50	2.20					CI	0.05				
											RI	0.58				
											CR	0.08				
Pocos recursos (PR)																
Alternativas	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	Total	Promedio	Consistencia				
ISO	1.00	5.00	6.00	1.00	0.63	1.50	0.31	0.26	0.39	0.96	0.32	3.04				
Lean	8.00	1.00	4.00	1.60	1.00	1.33	0.49	0.42	0.35	1.26	0.42	3.05				
TQM	4.00	3.00	1.00	0.67	0.75	1.00	0.20	0.32	0.26	0.78	0.26	3.03				
Total				3.27	2.38	3.83					CI	0.02				
											RI	0.58				
											CR	0.03				
Pocos procesos (PP)																
Alternativas	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	ISO	Lean	TQM	Total	Promedio	Consistencia				
ISO	1.00	4.00	5.00	1.00	0.57	1.00	0.27	0.25	0.30	0.81	0.27	3.01				
Lean	7.00	1.00	8.00	1.75	1.00	1.33	0.47	0.43	0.40	1.30	0.43	3.01				
TQM	5.00	6.00	1.00	1.00	0.75	1.00	0.27	0.32	0.30	0.89	0.30	3.01				
Total				3.75	2.32	3.33					CI	0.00				
											RI	0.58				
											CR	0.01				
Pesos de Criterios					Comparación de Pares				Normalización de tabla							
Criterios	FE	FI	PR	PP	FE	FI	PR	PP	FE	FI	PR	PP	Total	Promedio	Consistencia	
FE	1.00	4.00	3.00	7.00	1.00	4.00	3.00	7.00	0.58	0.48	0.66	0.44	2.16	0.54	4.23	
FI	1.00	1.00	1.00	3.00	0.25	1.00	0.33	3.00	0.14	0.12	0.07	0.19	0.53	0.13	4.02	
PR	1.00	3.00	1.00	5.00	0.33	3.00	1.00	5.00	0.19	0.36	0.22	0.31	1.09	0.27	4.17	
PP	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.33	0.20	1.00	0.08	0.04	0.04	0.06	0.23	0.06	4.06	
Total					1.73	8.33	4.53	16.00						CI	0.04	
														RI	0.90	
														CR	0.00	
												Consistencia	=>			

Por lo tanto, al calcular la prioridad, da como resultado la implementación de la metodología Lean Manufacturing por su flexibilidad en los cuatro criterios como se muestra en la tabla 36.

Tabla 36
Selección de metodología

Prioridad con respecto a:					
Alternativa	FE	FI	PR	PP	Objetivo
ISO	0.09	0.02	0.09	0.02	0.21
Lean	0.30	0.05	0.11	0.02	0.48
TQM	0.15	0.06	0.07	0.02	0.30
Totales	0.54	0.13	0.27	0.06	1.00

Adaptado a la “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 36 se observa que la metodología seleccionada se dio por un puntaje de 0.48, siendo el principal criterio la fácil estandarización, requerido por el problema que se ha establecido en el capítulo 2, análisis de la situación actual.

Para la selección de las herramientas dentro de la metodología Lean Manufacturing, se han seleccionado las que pueden solucionar el problema de demora en la entrega de equipos por mal planeamiento a la falta de una estandarización en el propio proceso, de acuerdo con el artículo “Operational performance improvement by implementation of value stream mapping – a case study from Indian industry” de Kumar y Kumar (2016). Se ha analizado bibliográficamente las herramientas de acuerdo con lo establecido en el marco teórico, por lo que se ha dado los elementos que comprenden en la mejora del proceso, como se observa en la tabla 37 a continuación:

Tabla 37
Selección de herramientas de Lean Manufacturing

Ítem	Elementos de Lean Manufacturing	PDCA (Kaizen)	5S	TPM	Poka Yoke	VSM	Heijunka	Balance de línea	Trabajo estandarizado
2	Prueba de error	X							
3	Nivel de servicio (cumplimiento)					X	X	X	X
4	Eliminar cuellos			X			X	X	
5	Eliminar colas			X			X	X	
6	Proceso por pasos	X				X			
7	Identificación de desperdicios					X			X
8	Mejora continua	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Nivelación de carga						X		
10	Reducción de información	X					X	X	X
11	Reducción de actividades					X			X
12	Reducción del tiempo de ciclo						X	X	X
13	Control del proceso	X		X		X			X
14	Estandarización		X	X	X	X	X	X	X
15	Reducción de variabilidad		X	X					X
16	Flexibilidad					X			
17	Nivelación de operarios							X	
	Total	5	3	6	2	8	8	8	9

Adaptado de "Kumar y Kumar, 2016", por elaboración propia, 2018

En la tabla 37, se visualiza que las herramientas de acuerdo con los elementos y estos a la vez seleccionados para el diseño de la mejora del proceso de reparación, se selecciona Heijunka, Balance de línea para la eliminación de las colas y cuellos, luego el resultado de éstas provee el trabajo estandarizado, y se analiza con la herramienta VSM.

Figura 65. Selección de herramientas de Lean Manufacturing de forma visual

Adaptado de “Kumar y Kumar, 2016”, por elaboración propia, 2018

En la figura 65, se muestra los porcentajes que se relacionan a los elementos de Lean Manufacturing, los cuales se relacionan a los criterios y problema a solucionar.

Por lo que el diseño final de la implementación es como se muestra en la figura 66 a continuación:

Figura 66. Diseño de la propuesta de mejora

Adaptado a la “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, se concluye que se utilizará la metodología Lean Manufacturing, la cual solucionará las colas y cuellos que originan la demora en el proceso de reparación, lo que indica a su vez la falta del planeamiento del proceso de reparación de maquinaria para la minería y comprende el mal planeamiento de operarios y el mal planeamiento de atención de reparación de los equipos, para ello se utilizarán el Balance de línea y Heijunka respectivamente, teniendo como resultado el trabajo estandarizado, englobado en la implementación de Lean Manufacturing utilizando la implementación de 5 etapas, y el análisis de los resultados con VSM y Teoría de Colas (aporte a la bibliografía seleccionada).

4.3 Desarrollo de la propuesta

Para la implementación de la metodología Lean Manufacturing se implementarán los 5 pasos de implementación de Escalda, Jara y Letzkus (2016) para no incrementar desperdicios. Por lo tanto, el desarrollo se realizará como sigue:

1. Equipo Lean

Equipo conformado por jefes del área de tal manera que controlen la implementación de la propuesta de mejora.

2. Análisis de datos

Se ha modificado esta fase, ya que los autores explican la técnica de Lluvia de ideas, sin embargo, para el presente proyecto se analizará los datos de la empresa como se analizaron en el capítulo 2, haciéndose un resumen de los hallazgos.

3. VSM Actual

La herramienta de mapa de flujo de valor se levantó con los datos actuales de la empresa y se realiza el análisis de ello por medio de la base de datos entregada por la empresa.

4. Identificación de mudas

Se ha utilizado el diagrama de causa y efecto.

5. Propuesta de mejora

Se identifica la secuencia del flujo del proceso de reparación para implementar una mejora y se establece el desarrollo de la propuesta, de acuerdo con la forma de implementación de las herramientas de Lean Manufacturing, se desarrollará cada una de ellas a continuación.

4.3.1 Etapa 1: Equipo Lean Título

Para poder implementar el equipo de implementación de Lean Manufacturing se realizará de la siguiente manera:

Figura 67. Organigrama de Lean Manufacturing

Adaptado a la “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 67, se visualiza el organigrama donde se indica el equipo Lean Manufacturing, encargado de la implementación, proporcionar capacitaciones, el secretario será un cargo que se debe intercambiar entre el jefe de operaciones y de mantenimiento.

4.3.2 Etapa 2. Análisis de datos

En la investigación de la situación actual de la empresa bajo estudio, se analizó la diferencia entre los tiempos solicitados por el área comercial (TSAC) y el tiempo real de

reparación (TRAM). Estos periodos, así como la tendencia de los datos históricos se observan en la figura 112, en donde se muestra que el valor de TSAC es menor que el real utilizado para la reparación, por ende, existe un problema de comunicación específicamente entre el área de taller y ventas, estos periodos debería fijarse por el taller, sin embargo, se debe dar una solución de acuerdo con los tiempos que el área comercial exige y asimismo los clientes que requieren estos equipos con rapidez. Por ello, existe un problema de la demora en la entrega de los equipos reparados. Sin embargo, se debe investigar si es que el objetivo se encuentra mal calculado para el área comercial, o en si el proceso de reparación se demora.

A continuación, en la figura 68 se observa la gran diferencia que existe entre los periodos programados y el periodo real de reparación, por ejemplo, en el mes de enero de 2018, se ejecutó reparaciones por 266 días, sin embargo, para el mismo mes, el tiempo solicitado por el área comercial fue de 223 días, habiendo una diferencia entre los dos de 43 días, lo que incurre en costos de horas hombre, hora planta (taller) y el tiempo que podría utilizarse para la reparación de otros equipos, generando tiempos de espera en las otras actividades quienes deben esperar que esta actividad termine para poder continuar con el flujo de entrega de los equipos.

Figura 68. Diferencia de días entre T.R.A.M vs T.S.A.C

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 68, se muestra que los tiempos solicitados por el área comercial son menores a los que realmente se utilizan para la reparación de los equipos, habiendo una diferencia total de 341 días para el periodo bajo estudio de 2017-2018, ya que el total del tiempo utilizado para el mantenimiento de los equipos fue de 1950.3 días para el periodo de enero 2017 a julio de 2018, y el solicitado fue de 1609.3 días. Por lo tanto, habiéndose determinado que el problema existe en la demora en la entrega de los equipos, a continuación, en la figura 69, se determina la frecuencia de la demora por mes. Por ejemplo, para el mes de enero de 2018, se entregó un equipo a tiempo, pero 12 equipos fuera del tiempo solicitado, como se observa a continuación:

Figura 69. Frecuencia de los equipos con demora y sin demora (2017–2018)

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 69, se observa que el total de las entregas con demora son de 94 unidades superando así al total de las entregas sin demora de 17 unidades, teniendo una diferencia de 77 unidades, el nivel de cumplimiento es de 15.32% de un total de 111 procesos para el periodo bajo estudio de esta investigación, siendo este índice muy bajo para el objetivo de la empresa, al buscar información con respecto a un posible índice del nivel de servicio en la industria no se ha encontrado, por lo que el estudio debe guiarse del objetivo de la empresa que este nivel de servicio, el cual también es el índice de cumplimiento debe elevarse al 95%, de acuerdo con la teoría de nivel de confianza y un margen de error del 5%. También en la misma figura, se muestra que la tendencia de la entrega con demora tiene una distribución en incremento, y la tendencia de la entrega a tiempo se mantiene constante (véase la figura 69, las tendencias denominadas Linear (Sin demora) y Linear (Demora en el tiempo de entrega de los equipos).

Por lo tanto, una vez que se ha establecido que la demora en la entrega de los equipos es un problema para la empresa, se analiza si los tiempos por actividades del proceso de reparación de la maquinaria pesada se encuentra nivelada o no para poder cumplir con los tiempos de entrega. Para ello, se muestra en la tabla 38 los tiempos de cada una de las actividades bajo el periodo de estudio de esta investigación.

Tabla 38
Análisis de los tiempos por actividad del proceso (2017–2018)

Año	Mes	Recepción	Diagnóstico	Presupuesto	Compras	Reparación	Pruebas	Entrega2	T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimiento) días	T.S.A.C (Tiempo solicitado por el área comercial) días	Diferencia entre TRAM y TSAC	Horas de demora
2017	Ene	0.953	3.456	1.721	9.222	30.770	1.651	0.961	49	39	10	160
	Feb	0.626	2.150	1.133	6.072	20.478	1.072	0.791	32	25	7	112
	Mar	1.008	3.321	1.732	9.687	27.004	2.006	1.242	46	30	16	256
	Abr	0.887	3.108	1.637	12.304	41.871	1.449	1.188	62	55	7	112
	May	1.628	5.397	2.950	13.936	49.261	2.710	1.696	78	64	14	224
	Jun	1.824	6.934	3.510	21.032	59.818	2.604	2.408	98	74	24	384
	Jul	1.650	5.421	2.908	17.369	43.586	3.094	1.861	76	59	17	272
	Ago	2.688	9.091	4.445	31.600	78.642	4.859	2.930	134	108	26	416
	Set	2.930	10.865	5.539	37.867	88.968	6.157	3.711	156	127	29	464
	Oct	3.865	13.367	6.827	41.718	139.392	6.562	4.540	216	180	36	576
	Nov	1.234	4.559	2.180	14.948	24.967	2.506	1.313	52	44	8	128
	Dic	1.836	7.078	3.506	19.784	63.510	3.572	2.229	102	81	21	336
2018	Ene	4.024	14.585	7.268	47.682	180.541	7.321	5.035	266	223	43	688
	Feb	1.630	5.787	2.620	17.915	52.217	2.921	1.728	85	65	20	320
	Mar	2.873	9.623	5.166	32.808	111.611	5.824	3.492	171	152	19	304
	Abr	2.534	8.984	4.492	21.774	106.722	3.852	3.237	152	128	24	384
	May	1.493	5.934	2.858	17.063	73.775	3.688	1.733	107	98	9	144
	Jun	0.981	3.416	1.810	9.470	39.935	1.590	1.198	58	49	9	144
	Jul	0.350	1.250	0.569	4.940	2.230	0.452	0.386	10	8	2	32
	Total días	35.014	124.326	62.871	387.191	1235.298	63.890	41.679	1950.3	1609.3	341	5456
	%	2%	6%	3%	20%	63%	3%	2%				

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 38, como introducción a los problemas y que posteriormente se examinará con herramientas de ingeniería, se ve que la actividad de reparación se ejecuta en 1235.298 días para el periodo en estudio, equivalente al 63% del tiempo total utilizado para el proceso completo. La segunda actividad es compras en donde se utiliza un tiempo al 20% del total del tiempo del proceso, y la tercera es la de diagnóstico con 6% del total del tiempo del proceso actual, por último, las otras actividades se encuentran en el rango de 2 y 3%. Por tanto, el tiempo de ciclo mayor es el de la actividad de reparación, el cual genera cuellos de botella, es decir que habrá un tiempo de espera en la siguiente actividad de pruebas, y en la actividad precedente de compras se genera colas, también por el tiempo de espera hasta que la reparación finalice. En conclusión, esta demora en la actividad de reparación se

refiere a los tiempos de espera del proceso. Los tiempos de espera es uno de los desperdicios de Lean Manufacturing.

Por ello, para determinar que la demora se encuentra en el proceso completo de reparación de los equipos pesados, se determinó que el proceso se encuentra fuera de control estadístico como se observa en la figura 70 que se menciona a continuación:

Figura 70. Diagrama de control del proceso de reparación

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Las estadísticas para ello se calcularon el promedio, la desviación estándar y los límites de control superior e inferior. Se debe calcular estos valores, por lo que no existe un indicador de la industria en los diferentes artículos analizados, para tenerlo como referencia. Por lo tanto, la referencia son los límites de control superior e inferior que se visualizan en la tabla 39 a continuación:

Tabla 39
Estadísticas del diagrama de control

Estadísticas		
Total días	1950.269	días
Promedio días	17.570	días
Desv. Std	5.12666845	días
UCL	22.697	días
LCL	12.443	días

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

El promedio del total de cada uno de los procesos de reparación es de 17.57 días con respecto a los datos históricos, la desviación estándar es de 5.13 días y por tanto el límite superior es de 22.697 días y el inferior es de 12.443 días. El control se encuentra entre los límites superior e inferior. En el diagrama de control se visualiza que hay procesos que sobrepasan estos límites, teniendo como resultado que el proceso se encuentra fuera de control estadístico.

Por ende, para relacionar las ventas y los costos, y siguiendo con el mismo ejemplo, del mes de enero del año 2018, y habiéndose determinado que en este mes las demoras son mayores a las entregas sin demora de los equipos, se observa que el total de las ventas fueron de US\$428,034.78, no siendo la mayor venta del periodo, sin embargo es en el mes que se generó mayor costo por horas hombre, planta y pérdidas de US\$28,013.08, 21,408.00 y US\$6,343.79 respectivamente, por lo que se concluye que no hay una relación establecida entre ventas y costos, es decir que, no existe la hipótesis de que cuando mayor es la venta, mayor es el costo, ya que el costo es variable y no depende del total de ventas, sino específicamente del tiempo que ocupa cada una de las actividades en un proceso. Por lo tanto, en la figura 71, se grafica esta falta de relación entre las ventas y costos por demora, también se observa que los costos por demora exceden las ventas, como se observa a continuación:

Figura 71. Ventas vs. Costos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por tanto, al establecer que se genera el desperdicio por la mala ejecución del proceso y cada una de las actividades que generan el tiempo de espera, se calcula si el proceso tiene equipos en cola dentro del sistema.

4.3.3 Etapa 3. VSM Actual

Por lo tanto, el VSM actual se elabora de los datos actuales e históricos provistos por la empresa, como se muestra a continuación en la figura 72:

Figura 72. VSM Actual

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Con la elaboración del VSM Actual se identifica la muda o despilfarros en el proceso de reparación.

4.3.4 Etapa 4: Identificación de la muda

4.3.4.1 Identificación de colas

Para identificar las colas del proceso de reparación, se debe determinar el porcentaje de uso del servidor y las colas que existen, para ello se determina que la llegada de los equipos es cada 5.16 días y el ingreso es de acuerdo al término de los contratos, por lo que la recepción es conocida por el taller, y el ingreso para cada una de las islas es de 20.65 días y el servicio es un promedio de 17.57 días, siendo el máximo tiempo de servicio de 26.388 días y en la actividad de reparación es de 19.772 días. Se considera el proceso completo desde la recepción del equipo hasta la entrega, lo cual consta de siete actividades, el diagrama de la situación actual se muestra a continuación en la siguiente figura 73:

Figura 73. Ingreso de los equipos y tiempo de servicio

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 73, se muestra de forma gráfica la recepción y el ingreso a cada una de las islas, para la atención de la reparación de los equipos. Con el análisis de la teoría de colas, se confirma la existencia de la demora, como se calculó bajo el análisis de la situación actual. Para evaluar las colas, se ve el índice de llegada, de acuerdo con la teoría de colas M/M/1 es de 0.048 equipos pesados por día, se toma el cálculo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Ratio de llegada } (\lambda) &= \frac{1 \text{ equipo pesado}}{20.65 \text{ días (es el ingreso en tiempo)}} \\ &= 0.048 \text{ equipos pesados/día} \end{aligned}$$

El servicio es mayor que la llegada de 0.057 equipos/día como se observa en el cálculo a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Ratio de servicio de equipos pesados } (\mu) &= \frac{1 \text{ equipo pesado}}{17.57 \text{ días (es la duración promedio de servicio)}} \\ &= 0.057 \text{ equipos pesados/día} \end{aligned}$$

La intensidad de tráfico de 0.851 como se visualiza a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Intensidad de tráfico } \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) &= \frac{\text{Ratio de llegada}}{\text{Ratio de servicio}} \\ &= \frac{0.048 \text{ equipos} \frac{\text{pesados}}{\text{día}}}{0.057 \text{ equipos} \frac{\text{pesados}}{\text{día}}} = 0.851 \end{aligned}$$

Lo que indica que el uso del servidor es de 85.1%, indicando que estos se encuentran en cola, mientras que la diferencia, es decir:

$$\begin{aligned} \text{Uso del servidor (isla con colas)} &= \\ \text{Intensidad de tráfico} * 100\% &= 85.1\% \end{aligned}$$

Y el 14.9% se sirve sin cola como se presenta de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
& \text{Uso del servidor (isla sin cola)} = \\
& 100\% - \text{Uso del servidor (isla en colas)} = \\
& 100\% - 85.1\% = 14.9\%
\end{aligned}$$

Los equipos que arriban son de 5.703 unidades como se observa:

$$\begin{aligned}
& \text{Número esperado de equipos en el sistema} = \\
& \frac{\text{Intesidad de tráfico } \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)}{1 - \text{Intesidad de tráfico } \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)} = \\
& \frac{0.851}{1 - 0.851} = 5.703 \text{ equipos pesados}
\end{aligned}$$

Y los que se encuentran en cola es de 4.853 unidades como se visualiza:

$$\begin{aligned}
& \text{Número esperado de equipos en cola} \\
& = \text{Ratio de llegada } (\lambda) * \text{tiempo de espera en cola} \\
& = \text{Ratio de llegada } (\lambda) \\
& * \left(\left(\frac{\text{Número esperado de equipos en el sistema}}{\text{Ratio de llegada}} \right) \right. \\
& \left. - \text{Tiempo medio por servicio general} \right) = 0.048 * \left(\left(\frac{5.703}{0.048} \right) - 17.57 \right) \\
& = 4.853 \text{ equipos pesados}
\end{aligned}$$

Siendo el tiempo de espera en el sistema de 117.778 días y el tiempo de espera en cola de 100.208 días, como se observa a continuación en la tabla 40:

Tabla 40
Análisis de Colas

Datos		
Por proceso	1	equipo pesado
Cada	5.16	días ingresa un equipo
Duración promedio por servicio	17.57	días
Islas para la reparación	4	islas
Por lo que ingresa un equipo por isla cada	20.65	días
Periodo de estudio	573.06	días
Unidades atendidas en el periodo de estudio	111	equipos pesados
Debería atenderse por isla	28	equipos pesados
Se deben atender	33	equipos pesados
M/M/1 queue		
Ingreso		
Unidad tiempo	día	
Ratio de llegada (λ)	0.048	equipo pesados/día
Ratio de servicio de equipos pesados (μ)	0.057	equipo pesados/día
Salida		
Salidas directas de las entradas		
Tiempo medio entre llegadas por isla	20.651	días
Tiempo medio por servicio general	17.570	días
Intensidad de tráfico (λ/μ)	0.851	
Resumen de resultados		
Número esperado de equipos en el sistema	5.703	equipo pesados
Número esperado de equipos en cola	4.853	equipo pesados
Tiempo de espera en el sistema	117.778	días
Tiempo de espera en cola	100.208	días
Uso del servidor (reparación)	85.1%	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Se utilizó el modelo de colas de M/M/1, debido a que sólo un servidor (1 isla) y la distribución de llegadas es exponencial y se sirve por orden de llegada. Esta causa se verifica con el VSM como se visualiza en la figura 74.

Figura 74. Análisis de la situación actual – VSM

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 74, se verificó que la actividad sin valor es la reparación en donde se utiliza ocho mecánicos sólo para un proceso en dos turnos, es decir cuatro mecánicos en el primer turno y cuatro en el siguiente, se considera como una cuadrilla de ocho para el mismo proceso.

4.3.4.2 Identificación de uso de recursos humanos

A continuación, se realizó de manera gráfica en el diagrama de flujo y la distribución de recursos humanos. En la figura 75, se muestran que la distribución de los mecánicos y operarios es desnivelada, en donde, para las actividades de recepción y entrega se realiza por un mismo operario (rojo), así como el diagnóstico y las pruebas de equipos (amarillo), y para la elaboración de presupuesto y orden de compra (OC) es la misma persona (verde), como se han diferenciado por los colores. El gráfico asevera que la demora se registra por la desnivelación de atención de equipos y por la desnivelación en la asignación de personal para el proceso.

Figura 75. Diagrama de flujo del proceso actual

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En el diagrama de flujo de la figura 75 se muestra que se asigna a una cuadrilla completa de mecánicos hasta que se finalice el mantenimiento del equipo, lo que se considera como un operario ya que los ocho trabajan a la vez en el mismo equipo.

4.3.5 Etapa 5: Propuesta de mejora

En esta fase se desarrolla la propuesta de mejora del proceso de reparación de equipos en el área de mantenimiento en una empresa de renta de maquinaria para construcción y minería. En esta sección se desarrollarán las herramientas para lograr los resultados que se han establecido en la hipótesis del trabajo. En primer lugar, se identificará el área y secuencia del proceso actual y se definirá los objetivos de esta fase, para iniciar el desarrollo de la

propuesta con las herramientas sugeridas. La primera herramienta Balance de Línea, solucionará la desnivelación del personal en el proceso, posteriormente se utiliza la herramienta Heijunka, para nivelar la secuencia de llegada de los equipos. Estas dos herramientas estandarizan el proceso de mejora para la reparación de los equipos.

4.3.5.1 Identificación y secuencia de las áreas del proceso de mejora

El área de estudio de la presente investigación es el proceso de reparación, desde la recepción de equipos en el taller hasta la entrega de ellos para el cumplimiento del siguiente contrato ya establecido por el área comercial.

Dentro del proceso, se han identificado dos actividades que generan colas:

Compras (elaboración de orden de compra), es la actividad que solicita los repuestos requeridos para poder completar una reparación, después que se ha realizado un diagnóstico al equipo que retornó del contrato. Se visualiza que, al tener un proceso en ejecución, se crea una cola de seis procesos. La actividad precedente es de 0.566 días, pero la actividad de elaboración de la orden de compra es de 3.488 días, habiendo una diferencia de 2.922 días.

Reparación de equipos, es la propia actividad de reparación de equipos, en donde se realizan los mantenimientos preventivos y correctivos. Una cuadrilla de ocho mecánicos se utiliza para la reparación, cuatro en el primer turno de 8 horas y cuatro mecánicos en el segundo turno de 8 horas, por el día consta de 16 horas. El ingreso de los equipos es bastante variado, de acuerdo con los contratos, por lo que su llegada no crea una variabilidad y por ello se puede establecer un cronograma de trabajo apropiado para poder cumplir los tiempos de entrega del siguiente alquiler de los equipos. Equilibrando la carga de trabajo del personal de acuerdo con las llegadas de los equipos.

Actividad	Recepción de equipos	Diagnóstico de equipos	Elaboración del Presupuesto	Compras, elaboración de OC	Reparación de equipos	Pruebas de equipos	Entrega de equipos para los siguientes clientes														
Proceso de reparaciones	1	1	1	1	1	1	1														
Días	0.315	1.120	0.566	3.488	11.129	0.576	0.375														
<table><tr><td>Cola</td><td>Cola</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>4</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td></td></tr></table>								Cola	Cola	1	1	2	2	3	3	4		5		6	
Cola	Cola																				
1	1																				
2	2																				
3	3																				
4																					
5																					
6																					

Figura 76. Identificación de colas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

A continuación, se ve en la figura 77 el diagrama de flujo del proceso actual con las actividades identificadas con colas.

Figura 77. Proceso Actual de Reparación

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

La actividad de reparación tiene subactividades, en donde ocurre la desnivelación en la distribución de mecánicos como se observa en la figura 78.

Figura 78. Actividad de reparación de equipos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Son 14 subactividades que se realizan por 4 mecánicos por turno, una cuadrilla de 8 mecánicos para un solo equipo. Estos mecánicos realizan diferentes subactividades sin tener una designación apropiada.

La restricción es que el proceso no se puede cambiar o eliminar una actividad ya que todas agregan valor al propio proceso, por lo que se debe realizar la nivelación.

4.3.5.2 Definición de objetivos

1. Nivelación de operarios para reducir tiempos
2. Nivelación de carga para cumplir la reducción de tiempos del primer objetivo
3. Estandarización del proceso de mejora, establecimiento de actividades por menores cantidades de mecánicos.
4. Capacitación
5. Implementación de las herramientas desarrolladas

4.3.5.3 Desarrollo de la propuesta

En esta sección se desarrolla cada una de las herramientas para proveer una solución a la demora en la entrega de los equipos.

4.3.5.3.1 Balance de línea

El balance de línea se refiere a la nivelación del personal y herramientas, sin embargo, al evaluar el taller las herramientas requeridas se encuentran en cada isla, sin que se mezclen entre ellas, o por la falta de alguna en otra isla. Por lo tanto, la nivelación debe darse específicamente en la nivelación de mecánicos. Para ello, se muestra que con los tiempos históricos la nivelación en tiempo por actividad debe ser de 2.510 días, como se observa a continuación en la figura 79:

Figura 79. Desnivelación de tiempos y operarios por actividad

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 79 se observa que las actividades elaboración de orden de compra y la reparación de equipos es mayor al promedio de 2.510 días. Las otras actividades se encuentran por debajo del promedio.

Los tiempos del proceso actual se ingresan a una Hoja de Excel para lograr la nivelación satisfactoria de tiempos y operarios. El balance de línea se inicia con una equivalente al 23%, lo cual es el porcentaje del tiempo total del proceso entre el tiempo de línea. Para ello el tiempo de línea es la multiplicación del ciclo de control (11.13 días) por el número de operarios (7) siendo igual a 78 días. El ciclo de control es el valor máximo dentro de cada proceso, debido al mayor es de 11.13 días para la reparación de equipos.

Tabla 41
Inicio del desarrollo del balance de línea

Descripción		Actual Tiempo	It 1 Día	Op
#001	Recepción de equipos	0.32	0.32	1
#002	Diagnóstico de equipos	1.12	1.12	1
#003	Elaboración del Presupuesto	0.57	0.57	1
#004	Compras, elaboración de OC	3.49	3.49	1
#005	Reparación de equipos	11.13	11.13	1
#006	Pruebas de equipos	0.58	0.58	1
#007	Entrega de equipos para los siguientes clientes	0.38	0.38	1
Tiempo total del proceso		17.6	17.6	
Ciclo de control			11.13	
No de Operarios			7.00	
Tiempo de línea			78	
% Balance			23%	

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 41, el porcentaje del balance de línea es de 23%, con 7 operarios, ya que se considera que la cuadrilla de 8 mecánicos en un día de 16 horas se considera como 1 ya que no se dedican a otro equipo hasta que terminen en esta isla.

En las siguientes iteraciones de nivelación, se han elaborado dos algoritmos, para poder incrementar los operarios en donde se requiera para nivelarlo al ciclo de control, y así calcular el tiempo por cada uno de ellos.

Algoritmo para operarios

Sí
 $\left\{ \begin{array}{l} T_n = \text{Ciclo de control} \\ T_1 > 0, \text{ en donde } n \text{ son el número de las iteraciones} = 1, 2, \dots, m \end{array} \right.$

Entonces, si es verdadero

$Op_{n+1} = Op_n + 1$

Si es falso

$Op_{n+1} = Op_n$

Como se observa a continuación en la tabla 42:

Tabla 42
Algoritmo de operarios en Excel

Actual Tiempo	Día	It 1	Op	It 2	Op	It 3	Op	It 4	Op
0.32		0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1
1.12		1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1
0.57		0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1
3.49		3.49	1	3.49	1	3.49	1	3.49	1
11.13		11.13	1	5.56	2	3.71	3	2.78	4
0.58		0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1
0.38		0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1
17.6		17.6		17.6		17.6		17.6	
		11.13		5.56		3.71		3.49	
		7.00		8.00		9.00		10.00	
		78		45		33		35	
		23%		39%		53%		50%	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Algoritmo para los tiempos

Sí

$$Opn = Opn+1$$

Entonces, si es verdadero

$$Tn+1 = T1$$

Si es falso

$$Tn+1 = T1/Opn+1$$

Como se observa a continuación en la tabla 43:

Tabla 43

Algoritmo de los tiempos en Excel

Actual Tiempo	Día	It 1	Op	It 2	Op	It 3	Op	It 4	Op
0.32		0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1
1.12		1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1
0.57		0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1
3.49		3.49	1	3.49	1	3.49	1	3.49	1
11.13		11.13	1	5.56	2	3.71	3	2.78	4
0.58		0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1
0.38		0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1
17.6		17.6		17.6		17.6		17.6	
		11.13		5.56		3.71		3.49	
		7.00		8.00		9.00		10.00	
		78		45		33		35	
		23%		39%		53%		50%	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Por lo que se continúa hasta que se elija, el apropiado, por ejemplo, acá se seleccionó cuando el proceso se encuentra balanceado al 79% ya que, si se selecciona el siguiente, se deberá aumentar un mecánico más a 9, en el balance se consideran a los 8 ya contratados para el taller. Por lo que se nivela, en la iteración 10 con 8 equipos de mecánicos de cada equipo de 2 mecánicos, por directiva de la empresa un mecánico no puede trabajar solo, siendo un total de 24 operarios, los cuales se encuentran contratados por la empresa. A continuación, en la tabla 44, se ve los cálculos.

Tabla 44
Balance de línea

Descripción			Actual	It 1		It 2		It 3		It 4		It 5		It 6		It 7		It 8		It 9		It 10	
			Tiempo	Día		Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día	Op	Día
1 #001	Recepción de equipos		0.32			0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1	0.32	1
2 #002	Diagnóstico de equipos		1.12			1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1	1.12	1
3 #003	Elaboración del Presupuesto		0.57			0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1	0.57	1
4 #004	Compras, elaboración de OC		3.49			3.49	1	3.49	1	3.49	1	1.74	2	1.74	2	1.74	2	1.74	2	1.16	3	1.16	3
5 #005	Reparación de equipos		11.13			11.13	1	5.56	2	3.71	3	2.78	4	2.78	4	2.23	5	1.85	6	1.59	7	1.59	7
6 #006	Pruebas de equipos		0.58			0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1	0.58	1
7 #007	Entrega de equipos para los siguientes clientes		0.38			0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1	0.38	1
Tiempo total del proceso			17.6			17.6		17.6		17.6		17.6		17.6		17.6		17.6		17.6		17.6	
Ciclo de control						11.13		5.56		3.71		2.78		2.23		1.85		1.74		1.59		1.39	
No de Operarios						7.00		8.00		9.00		10.00		11.00		12.00		13.00		14.00		15.00	
Tiempo de línea						78		45		33		35		31		27		24		24		22	
% Balance						23%		39%		53%		50%		57%		66%		73%		72%		79%	
								17%		13%		-2%		7%		8%		7%		-1%		2%	
								pasar		pasar		detener		pasar		pasar		pasar		detener		pasar	

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 44, el balance de línea se considerará al 79%, reduciendo el tiempo de cada uno de los operarios en menos de 2.510 días. Reduciendo el tiempo del proceso de 17.57 a 5.51 días. Mejorándose el tiempo del proceso en un 79% únicamente al balancear el uso de los recursos humanos. Al transferir los datos calculados al DAP de mejora, se visualiza que se ha reducido el tiempo de 17.57 a 5.51 días, como se observa a continuación:

DAP	PROCESO DE REPARACIÓN										
Diagrama: N° 1		Hoja N° 1 de 1		RESUMEN							
Objeto:		Actividad		Pasos		%		Días		%	
Proceso de la gestión de atención de reparación		Demora		0		0%		0.0		0%	
Actividad: Proceso		Operación		4		57%		3.4		62%	
		Almacenaje		1		14%		0.4		7%	
Método: Mejora 1, balance de línea		Transporte		0		0%		0.0		0%	
		Inspección		2		29%		1.7		31%	
Compuesto por : Miranda, Peter/Torres, Richard		Total		7		100%					
Descripción		Cantidad op por actividad	Tiempo Estándar (Días)	SIMBOLOGÍA					OBS.		
				○	⇒	⬇	□	▽			
Recepción de equipos		1	0.315	X							
Diagnóstico de equipos		1	1.120				X				
Elaboración del Presupuesto		1	0.566	X							
Compras, elaboración de OC		3	1.163	X							
Reparación de equipos		8	1.391	X						Equipos de 2 mecánicos (8) *2	
Pruebas de equipos		1	0.576				X				
Entrega de equipos para los siguientes clientes		1	0.375					X			
TOTAL			5.507	4	0	0	2	1			

Figura 80. DAP de la propuesta de mejora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 80, también se transfieren el número de operarios que se requieren para llegar a la nivelación calculada, se debe analizar si es que existen colas, por medio de la teoría de colas. Por lo que se determinan los cálculos del proceso de la mejora que se muestra en la figura 81.

Figura 81. Datos para el análisis de colas del proceso de mejora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Como se muestra en la figura 81, la llegada al taller de los equipos y la llegada a cada isla de los equipos se asume la misma para el proceso actual y mejora, por tanto, el proceso de reparación se reduce de 17.57 al 5.51 días al equilibrar los operarios en cada una de las actividades.

4.3.5.3.1.1 Identificación de colas al implementar la herramienta balance de línea

Por lo tanto, se debe calcular La cola que existirá después de haber balanceado la línea del proceso. A continuación, en la tabla 45 se observa el cálculo de la cola con el método M/M/1 de la teoría colas, comparándose con la situación actual del proceso:

Tabla 45
Análisis de colas para la propuesta de mejora

Datos	Actual	Mejora 1	
Por proceso	1	1	equipo pesado
Cada	5.16	5.16	días ingresa un equipo
Duración promedio por servicio	17.57	5.51	días
Islas para la reparación	4	4	islas
Por lo que ingresa un equipo por isla cada	20.65	20.65	días
Periodo de estudio	573.06	573.06	días
Unidades atendidas en el periodo de estudio	111	111	equipos pesados
Debería atenderse por isla	28	28	equipos pesados
Se deben atender	33	104	equipos pesados
M/M/1 queue			
Ingreso			
Unidad tiempo	día	día	
Ratio de llegada (λ)	0.048	0.048	equipo pesados/día
Ratio de servicio de equipos pesados (μ)	0.057	0.182	equipo pesados/día
Salida			
Salidas directas de las entradas			
Tiempo medio entre llegadas por isla	20.651	20.651	días
Tiempo medio por servicio general	17.570	5.507	días
Intensidad de tráfico (λ/μ)	0.851	0.267	
Resumen de resultados			
Número esperado de equipos en el sistema	5.703	0.364	equipo pesados
Número esperado de equipos en cola	4.853	0.097	equipo pesados
Tiempo de espera en el sistema	117.778	7.509	días
Tiempo de espera en cola	100.208	2.002	días
Uso del servidor (reparación)	85.1%	26.7%	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Se observa en la tabla 45, que los índices de llegada es el mismo, ya que se está asumiendo los datos históricos como los que se proyectarán para el siguiente periodo de trabajo, por tanto, el ratio de servicio de equipos se incrementa de 0.057 a 0.182 equipos pesados/día y la intensidad de tráfico se reduce de 0.851 a 0.267, el número de equipos que espera en el sistema es menor que 1, es decir 0.364 equipos en espera en todo el sistema, y los que se encuentran en cola es de 0.097 equipos reduciéndose de 4.853 unidades.

El tiempo de espera por unidad es de 7.07 días lo cual se redujo de 117.778 días y el tiempo de espera se redujo de 100.208 a 2.002 días, reduciéndose el uso del servidor de 85.1% a 26.7%, equivalente a la intensidad del tráfico, lo que indica que el 26.7% de los equipos espera en cola y el resto se repara sin que espere en cola.

4.3.5.3.1.2 Identificación de colas después de implementar la herramienta balance de línea
Los tiempos calculados al aplicar el balance de línea, se llevan al mapa de valor o VSM, reduciéndose así el tiempo total del proceso. A continuación, en la figura 82 se ve el análisis de los cuellos de botella en el VSM.

Figura 82. Propuesta de mejora – VSM

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Al elaborar el estado futuro del proceso con la herramienta VSM, se determina que se elimina el cuello de botella, debido a que, el tiempo de ciclo de cada una de las actividades es menor que el tiempo Takt, por lo que se han eliminado los cuellos de botella, sin embargo, hay colas en el sistema de 26.7% (figura 82).

4.3.5.3.1.3 Comparación de uso de recursos entre el proceso actual y la propuesta de mejora

A continuación, se ha graficado la distribución de los operarios y mecánicos entre el proceso actual y de mejora, al identificar la desnivelación del proceso actual el operario podía realizar dos actividades del proceso, como los tres primeros operarios del proceso actual. Sin embargo, el uso de los recursos en la mejora se nivela y cada uno de los operarios realiza una única actividad, como se observa en la tabla 46 a continuación:

Tabla 46
Nueva distribución de operarios

Nº	Actividades	Operarios																																					
		Actual											Mejora																										
		OP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	OP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	Recepción de equipos	1	X										1	X																									
2	Diagnóstico de equipos	1		X									1		X																								
3	Elaboración del Presupuesto	1			X								1			X																							
4	Compras, elaboración de OC	1											3																										
																	X																						
																		X																					
																			X																				
5	Reparación de equipos	1				X	X	X	X	X	X	X	X	8																									
																						C1	C1																
																								C2	C2														
																									C3	C3													
																										C4	C4												
																											C5	C5											
																													C6	C6									
																															C7	C7							
																																	C8	C8					
6	Pruebas de equipos	1		X									1							X																			
7	Entrega de equipos para los siguientes clientes	1	X										1								X																		
TOTAL			2	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

En la tabla 46 se observa la nueva distribución de los mecánicos y en la actividad de elaboración de orden de compra. Lo que indica que 3 operarios en la actividad de elaboración de compra se apoyan mutuamente para cada proceso, haciendo que, el proceso se reduzca a 1.163 días por cada uno de ellos, y los 16 mecánicos, se asignarán de acuerdo con cada una de las subactividades para trabajar en diferentes equipos a la vez, mientras que los otros equipos terminan con las actividades precedentes. Como se observa en la figura 83 a continuación:

Figura 83. Distribución de mecánicos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Cuando C1, finaliza se dirige a la siguiente isla para atender el desmontaje del riper, luego a la isla 2, isla 3 y por último isla 4, por lo que cuando retorne a la isla 1, ya le toca nuevamente montar el riper, cada uno de los equipos se enfoca en una subactividad de la reparación. El equipo C8 se utilizará como apoyo. Por lo que se debe nivelar el proceso de carga.

4.3.5.3.2 Heijunka

La nivelación de atención de los equipos en las cuatro islas se trabajará con la herramienta Heijunka, después de determinar la nivelación de la línea con la distribución de los operarios para cada una de las actividades. Al considerar un tiempo, reducido por equipo de 5.51 días con la nueva distribución de operarios, esto también se debe reflejar en la distribución de equipos. Para ello se debe determinar los equipos con mayor frecuencia de reparaciones por lo que se contratan en mayor cantidad. La llegada de los equipos por modelo en servicio por el periodo bajo estudio fue como se muestra en la figura 84 a continuación:

Figura 84. Servicios de reparación por modelo

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la figura 84 se muestra que los modelos FMX 6x4 R y D65EX16 son los que tienen mayor servicio, sin embargo, el ingreso de los equipos era desordenado y sin nivelación habiendo 44 unidades que se quedaron en cola, por lo que al utilizar la herramienta de Heijunka se ha distribuido equitativamente la llegada de los equipos al taller, como se muestra en la tabla 47 a continuación:

Tabla 47
Distribución de equipos con Heijunka

Modelos - Servicios por mes																										
Año	Días laborales	Mes	Servicio Actual por modelo							Capacidad				Actual						Optimización						
			3C	D65EX-16	FMX 6x4 R	GD555-5	PC350LC-8	WA470-6	Total unidad	ACTUAL		MEJORA		Isla 1	Isla 2	Isla 3	Isla 4	Cola	Total	Isla 1	Isla 2	Isla 3	Isla 4	Cola	Total	
										Por isla	total	por isla	total													
2017	20 Ene			3					3	1	4	3	12	1	1			0	3	1	1	1		0	3	
	20 Feb			1	1				2	1	4	3	12	1	1			0	2	1			1	0	2	
	20 Mar			2	1				3	1	4	3	12	1	1	1		0	3		1	1	1	0	3	
	20 Abr			1	1	1			3	1	4	3	12	1	1	1		0	3	1	1	1		0	3	
	20 May				4			1	5	1	4	3	12	1	1	1	1	1	4	1	1	1	2	0	5	
	20 Jun			2	3		1		6	1	4	3	12	1	1	1	1	2	4	2	2	1	1	0	6	
	20 Jul				4		1		5	1	4	3	12	1	1	1	1	1	4		1	2	2	0	5	
	20 Ago		1	2	3	1	1		8	1	4	3	12	1	1	1	1	4	4	2	2	2	2	0	8	
	20 Set			4	1	1	2	2	10	1	4	3	12	1	1	1	1	6	4	3	3	2	2	0	10	
	20 Oct			4	6	1	1		12	1	4	3	12	1	1	1	1	8	4	3	3	3	3	0	12	
	20 Nov			1	3				4	1	4	3	12	1	1	1	1	0	4	1	1	1	1	0	4	
	20 Dic				4		1	1	6	1	4	3	12	1	1	1	1	2	4	2	1	1	2	0	6	
2018	20 Ene		1	3	6		2	1	13	1	4	3	12	1	1	1	1	9	4	3	3	3	3	1	13	
	20 Feb			2	1	1	1		5	1	4	3	12	1	1	1	1	1	4	1	1	2	1	0	5	
	20 Mar			2	3	2	1	1	9	1	4	3	12	1	1	1	1	5	4	3	2	2	2	0	9	
	20 Abr		1	3	3		1		8	1	4	3	12	1	1	1	1	4	4	2	2	2	2	0	8	
	20 May				4			1	5	1	4	3	12	1	1	1	1	1	4	1	1	1	2	0	5	
	20 Jun				2			1	3	1	4	3	12	1	1	1		0	3		1	1	1	0	3	
	20 Jul				1				1	1	4	3	12	1				0	1		1			0	1	
		Total	3	30	51	7	12	8	111					19	18	17	13	44		27	28	27	28	1	111	
														Desnivelado					Nivelado							

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

En la situación actual se observa que las islas de 1 al 3 se utilizan 19, 18 y 17 unidades y la isla 4 se utilizó por 13 unidades, dejando una cola de 44 unidades que se atendieron entre las llegadas de cada mes, cuando la capacidad calculada es de 1 equipo por isla por mes. Lo que indica una distribución desnivelada a nivel de las islas, sin planeamiento. Por lo tanto, al incrementar la capacidad real de cada isla de 1 equipo a la atención de 3 equipos por isla por mes de 20 días debido a la nivelación de la línea por la distribución correcta de los operarios, se nivela la atención de 27 a 28 equipos por isla durante el mismo periodo bajo estudio. Esta distribución, hace posible que los mecánicos puedan atender diferentes equipos a la vez y así reducir el tiempo de atención de 17.57 días a 5.51 días.

Por lo tanto, al nivelar personal (balance de línea, tabla 44) y equipos (Heijunka, tabla 47), se observa en la figura 85 de la siguiente manera, comparando la distribución de operarios de la situación actual y la propuesta de mejora en los diagrama de flujo de ambos procesos,

estableciendo que los mecánicos realizan una subactividad específica dentro de la actividad de reparación del proceso de mantenimiento de equipos y si hubiera cuatro equipos en las cuatro islas a la vez, se transfieren de una isla a otra para realizar el trabajo identificado para cada una de las cuadrillas de dos mecánicos.

Figura 85. Proceso de Mejora, estandarizado

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

4.3.5.3.3 Estandarización

Para la estandarización se debe simular los tiempos de los 111 procesos de atención, con los nuevos tiempos que se han obtenido en el proceso de mejora como se observa en la figura 86 a continuación, y la simulación completa se observa en el Anexo 2.

DAP	PROCESO DE REPARACIÓN									
Diagrama: N° 1		Hoja N° 1 de 1		RESUMEN						
Objeto: Proceso de la gestión de atención de reparación		Actividad		Pasos	%	Días		%		
		Demora		0	0%	0.0		0%		
Actividad: Proceso		Operación		4	57%	3.4		62%		
		Almacenaje		1	14%	0.4		7%		
Método: Mejora 1, balance de línea		Transporte		0	0%	0.0		0%		
		Inspección		2	29%	1.7		31%		
Compuesto por : Miranda, Peter/Torres, Richard		Total		7	100%					
Descripción		Cantidad op por actividad	Tiempo Estándar (Días)	SIMBOLOGÍA					OBS.

Recepción de equipos		1	0.315	X						
Diagnóstico de equipos		1	1.120				X			
Elaboración del Presupuesto		1	0.566	X						
Compras, elaboración de OC		3	1.163	X						
Reparación de equipos		8	1.391	X					Equipos de 2 mecánicos (8) *2	
Pruebas de equipos		1	0.576				X			
Entrega de equipos para los siguientes clientes		1	0.375					X		
TOTAL			5.507	4	0	0	2	1		

Figura 86. DAP de la propuesta de mejora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Aleatorios para Mejora

Se ha supuesto los rangos de cada actividad de acuerdo con su ejecución en el proceso actual, y luego se ha elegido los aleatorios para cada uno de los modelos como se visualiza en la siguiente tabla 48.

Tabla 48

Estandarización – Propuesta de Mejora

								2	8	4	16	15	2	2	
								3	10	5	40	146	7	4	
				ALEATORIOS	4.558		Preventivo	0.256	0.990	0.508	1.078	1.198	0.276	0.251	4.55762012
					6.456		Correctivo	0.375	1.25	0.625	1.247	1.584	0.875	0.5	6.456
					5.507			0.315	1.120	0.566	1.163	1.391	0.576	0.375	
Serie	Inicio de contrato	Contrato meses	Contrato días	Ingreso a taller	Taller	Entrega	Tipo de mantenimiento	Recepción	Diagnóstico	Presupuesto	Compras	Reparación	Pruebas	Entrega	Total
81415	06/10/2016	3	90	04/01/2017	5.837	09/01/2017	Correctivo	0.269	1.241	0.6	1.236	1.575	0.558	0.358	5.837
81614	25/10/2016	3	90	23/01/2017	5.558	28/01/2017	Preventivo	0.283	1.04	0.59	1.226	1.401	0.631	0.387	5.558
81608	28/08/2016	5	150	25/01/2017	5.957	30/01/2017	Correctivo	0.352	1.148	0.579	1.166	1.477	0.796	0.439	5.957
93KJS02D4DE808797	08/09/2016	5	150	05/02/2017	5.628	10/02/2017	Preventivo	0.326	1.161	0.589	1.117	1.505	0.481	0.449	5.628
81368	24/07/2016	7	210	19/02/2017	5.542	24/02/2017	Preventivo	0.339	1.219	0.515	1.142	1.285	0.623	0.419	5.542
81644	08/08/2016	7	210	06/03/2017	5.759	11/03/2017	Correctivo	0.3	1.12	0.564	1.084	1.406	0.865	0.42	5.759
40023	23/07/2016	8	240	20/03/2017	5.343	25/03/2017	Correctivo	0.319	1.143	0.586	1.122	1.358	0.548	0.267	5.343
93KJS02D2EE809450	27/11/2016	4	120	27/03/2017	5.954	01/04/2017	Correctivo	0.367	1.25	0.616	1.172	1.302	0.86	0.387	5.954
55353	07/09/2016	7	210	05/04/2017	5.413	10/04/2017	Correctivo	0.256	1.149	0.509	1.233	1.47	0.504	0.292	5.413
81415	21/01/2017	3	90	21/04/2017	5.35	26/04/2017	Correctivo	0.28	1.087	0.611	1.218	1.254	0.649	0.251	5.35
93KJS02D8EE809716	02/08/2016	9	270	29/04/2017	5.644	04/05/2017	Correctivo	0.332	1.145	0.589	1.124	1.559	0.416	0.479	5.644
93KJS02D3EE809449	02/12/2016	5	150	01/05/2017	5.388	06/05/2017	Preventivo	0.296	1.006	0.593	1.102	1.237	0.75	0.404	5.388
93KJS02D5EE809451	03/12/2016	5	150	02/05/2017	5.535	07/05/2017	Correctivo	0.363	1.02	0.569	1.224	1.549	0.495	0.315	5.535
91162	22/12/2016	5	150	21/05/2017	5.467	26/05/2017	Preventivo	0.357	1.064	0.585	1.19	1.203	0.635	0.433	5.467
93KJS02D4EE809309	22/02/2017	3	90	23/05/2017	5.834	28/05/2017	Correctivo	0.265	1.183	0.559	1.126	1.555	0.653	0.493	5.834
93KJS02D4DE808797	23/02/2017	3	90	24/05/2017	4.946	29/05/2017	Correctivo	0.328	1.046	0.532	1.099	1.259	0.324	0.358	4.946

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Estos cálculos podrán tener como resultado si existe o no una mejora en los indicadores.

4.4 Requerimientos para la implementación

Esta fase revisa los posibles datos que se van recolectando en el momento de implementar las herramientas.

4.4.1 Capacitación

Se debe considerar el pago de horas extras para las capacitaciones diarias que no pasen de las dos horas extras, después o antes del turno que corresponda a los operarios. Se debe considerar también que las capacitaciones es una forma de asegurar que la estandarización se cumple. Por ende, la inversión total de la capacitación es de US\$129,041.35. La capacitación es primordial en este tipo de implementaciones de herramientas de Lean Manufacturing, ya que la responsabilidad se provee a cada uno de los operarios para que cumpla el tiempo y se pueda llegar a la entrega programada o antes. En la tabla 49 se observa inversión de la capacitación.

Tabla 49
Inversión por capacitación

Capacitación	Horas/part	Costo Hr
Clases		
Heijunka	19	\$ 65.00
Balance de Línea	18	\$ 65.00
VSM	18	\$ 65.00
DAP	18	\$ 65.00
Estandarización de trabajo - Procesos	18	\$ 65.00
Lean manufacturing - Introducción	18	\$ 65.00
Horas extra por capacitación		
Hora extra (de acuerdo con ley - 25% 2 horas diarias)		\$ 5.98
Operarios	24.00	
Total capacitación		\$ 113,394.09
Total horas extras por capacitación		\$ 15,647.25
Total Inversión Capacitación		\$ 129,041.35

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

4.4.2 Control de trabajo estandarizado

El control del trabajo estandarizado lo realizará el jefe de mantenimiento, aleatoriamente tomará tiempos para un proceso completo, de tal manera que se acepte la implementación completa de las herramientas, como se observa en la figura 87 a continuación:

DAP		PROCESO DE REPARACIÓN										
Diagrama: N° 1		Hoja N° 1 de 1		RESUMEN								
Objeto: Proceso de la gestión de atención de reparación		Actividad										
		Demora	□									
Actividad: Proceso		Operación		○								
		Almacenaje		▽								
Método: Mejora 1, balance de línea		Transporte		⇒								
		Inspección		□								
Compuesto por : Miranda, Peter/Torres, Richard		Total										
Descripción		Cantidad op por actividad	Tiempo Estándar (Días)	Fecha			Modelo		Turno		Ingreso	Entrega
	PROCESO			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Recepción de equipos		1	0.315									
Diagnóstico de equipos		1	1.120									
Elaboración del Presupuesto		1	0.566									
Compras, elaboración de OC		3	1.163									
Reparación de equipos		8	1.391									
Pruebas de equipos		1	0.576									
Entrega de equipos para los siguientes clientes		1	0.375									
TOTAL			5.507									

Figura 87. Control de tiempos

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

4.4.3 Plan de implementación

Figura 88. GANTT

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

4.5 Indicadores

Se puede observar que, el nivel de servicio actual es del 15.32% y el objetivo es de 95%, lo que indica que se entrega los equipos con demora, lo que indica que 94 unidades se entregaron con demora de los 111 procesos. Al aplicar la propuesta de mejora, la entrega incrementará al 80.18%, no llegará al objetivo de la empresa de 95%, sin embargo, es una mejora importante para la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing. Reduciéndose así el promedio de los días de demora de 341 al 1.39 días en total. Lo que indica que los retrasos son horas de proceso en proceso no siendo un día completo y lo que se observa en la tabla 50.

Tabla 50
Indicadores Actual vs. Mejora

Indicadores	Actual	Unidades	Objetivo	Objetivo	Mejora
Nivel de cumplimiento de entrega	15.32%	porcentaje	incrementar	95%	80.18%
Promedio días de demora	341.00	días	reducir 20%	68.2	1.39

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

4.6 Inversión y ahorros de la implementación

La inversión de la implementación requiere de capacitación y tangibles para poder automatizar la toma de tiempos y así tener un mejor control de las demoras en tiempo real como se observa en la tabla 51 a continuación:

Tabla 51
Inversión

Inversión		
Capacitación	Horas/part	Costo Hr
Clases		
Heijunka	19	\$ 65.00
Balance de Línea	18	\$ 65.00
VSM	18	\$ 65.00
DAP	18	\$ 65.00
Estandarización de trabajo - Procesos	18	\$ 65.00
Lean manufacturing - Introducción	18	\$ 65.00
Horas extra por capacitación		
Hora extra (de acuerdo con ley - 25% 2 horas diarias)		\$ 5.98
Operarios	24.00	
Total capacitación		
		\$ 113,394.09
Total horas extras por capacitación		
		\$ 15,647.25
Total Inversión Capacitación		
		\$ 129,041.35
Contratación		
Contratación de nuevos empleados	13.00	\$ 4.78
Total inversión por contratación		
		\$ 109,450.00
Tangibles/Activos Programación Servidor		
Aplicación JIT heijunka y balance de línea en tiempo real		\$ 15,200.00
Aplicación VSM - DAP		\$ 23,200.00
Conexión de base de datos		\$ 21,500.00
Levantamiento de datos en Access		\$ 21,700.00
Total Tangibles/Activos		
		\$ 81,600.00
Total Inversión		
		\$ 320,091.35

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

La inversión total es de US\$320,091.35, lo que incluye la capacitación y los tangibles o activos para interconectar la recolección de tiempos y poder tener un control en tiempo real, de tal forma que se pueda solucionar inmediatamente cualquier problema que surja en el uso de estas herramientas.

Por otro lado, los ahorros que se calculan por el uso de las herramientas, principalmente al nivelar a los mecánicos, en la tabla 52 se observa que los ahorros fueron de

US\$171,367.90, lo cual es la diferencia de los costos del proceso actual por las demoras y los costos que se calcularon en el balance de línea.

Tabla 52
Ahorros

Datos		
Costo promedio pérdida de ventas por tiempo de espera	\$	32.67
Costo Horas hombre por tiempo de espera	\$	5.38
Costo Horas planta por tiempo de espera	\$	9.70
Tiempo de espera (demora) horas		5456
Promedio operarios por servicio		8
Actual		
Impacto económico		
Tiempo de espera - Pérdida venta	\$	178,272.00
Tiempo de espera - Costo hora hombre	\$	223,798.46
Tiempo de espera - Costos planta	\$	52,940.87
	\$	455,011.33
Mejora		
Total actividades		7.00
Operarios		16.00
Sin embargo los mecánicos son equipos de 2 por lo que el total de operarios es de		24.00
Tiempo de línea - días		22.26
Tiempo por proceso - días		5.51
Tiempo demora		1.39
Procesos de reparación		111.00
Total tiempo - días		154.73
Total tiempo horas		1653
Operarios		24
Tiempo de espera - Pérdida venta	\$	54,026.63
Tiempo de espera - Costo hora hombre	\$	213,572.68
Tiempo de espera - Costos planta	\$	16,044.12
Total	\$	283,643.43
Ahorros	\$	171,367.90

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Los ahorros se refieren a la reducción del tiempo de espera de los operarios por un total de US\$171,367.90. Reflejándose que, al incrementar de 11 a 24 operarios, sin embargo, el tiempo es menor, y en lugar de servir a una unidad por 17.57 días y un tiempo de línea por proceso de 77.90 días, (situación actual), se mejora a servir una unidad por 5.51 días con un tiempo de línea de 22.26 días, se reduce el tiempo de espera. Al tener un costo en el actual con 11 operarios de US\$455,011.33 en la situación actual se reduce el costo a US\$283,643.43 con 24 operarios en la propuesta de mejora, teniendo como ahorro US\$171,367.90.

Por lo tanto, los ahorros se refieren a los tiempos de espera, por pérdida de venta, ya que se reduce el tiempo de espera y la máquina se queda menos tiempo en taller, por lo que se reduce el monto de la pérdida de venta y horas hombre y horas planta.

5 CAPITULO 4. VALIDACIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se enfoca en la viabilidad de la implementación de la propuesta de mejora, por medio de la simulación, utilizando el programa Arena de Rockwell Automation, así como su factibilidad económica con el desarrollo del valor presente neto y la tasa interna de retorno para un periodo de 5 años.

5.1 Simulación

Se preparó las bases de datos tanto los históricos de la situación actual, así como la proyección de los posibles tiempos para la propuesta de mejora, ingresándolos en el programa complementario de Arena llamado Input Analyzer para obtener las distribuciones de las curvas de cada una de las actividades como se observa a continuación en la siguiente tabla 53.

Tabla 53

Distribuciones de las actividades del proceso actual y de mejora

Actividades	ACTUAL	MEJORA
Recepcion de equipos	$0.23 + 0.16 * \text{BETA}(1.72, 1.5)$	$0.24 + 0.15 * \text{BETA}(1.78, 1.69)$
Diagnostico de equipos	$0.999 + 0.281 * \text{BETA}(1.09, 1.44)$	$0.96 + 0.32 * \text{BETA}(1.6, 1.74)$
Elaboracion del Presupuesto	$0.48 + 0.16 * \text{BETA}(2.09, 1.78)$	$0.49 + 0.15 * \text{BETA}(1.85, 1.91)$
Compras, elaboracion de OC	UNIF(2, 5)	$1.06 + 0.21 * \text{BETA}(1.39, 1.36)$
Reparacion de equipos	$1 + 19 * \text{BETA}(1.42, 1.23)$	$1.17 + 0.45 * \text{BETA}(1.95, 1.75)$
Pruebas de equipos	$0.18 + 0.76 * \text{BETA}(1.36, 1.25)$	$0.21 + 0.73 * \text{BETA}(1.84, 1.8)$
Entrega de equipos para los siguientes clientes	$0.22 + 0.31 * \text{BETA}(1.78, 1.77)$	$0.22 + 0.31 * \text{BETA}(2.14, 2.28)$
Decisiones	Afirmativo	Afirmativo
¿Herramientas en taller danados o fuera de servicio?		9% 5%
¿Paso inspeccion o prueba de calidad?		51% 77%
Datos adicionales		
Réplicas	42	42
Periodo por réplica x días	300	300

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

En la tabla 53 se observa que las distribuciones halladas para cada una de las actividades difieren entre el proceso actual y de mejora, por la diferencia de tiempos y la mejora de condiciones en la propuesta de mejora. A su vez se ha calculado los valores que se

requieren para los cuadros decisiones que deben modelarse como la posibilidad de que existen herramientas dañadas o fuera de servicio que podrían llevar a una parada de operaciones, en el caso del proceso actual se calculó un 9% que sí habría la posibilidad pero en el caso de la propuesta de mejora disminuyó a 5% así como si ha pasado o no la prueba o inspección de calidad, siendo de 51% y 77%, respectivamente. Esto significa que para el proceso actual el 51% de los trabajos pasó la inspección. Las réplicas se calcularon por medio de la muestra estadística, al ingresar los procesos de 111 (N), con un nivel de confianza de 90% siendo su valor de 1.65 y un margen de error de 0.10. Por lo que la muestra sería de 42 réplicas. Como se observa en la figura 89 a continuación:

Tamaño de Muestra									
p	0.5	$n = \frac{(p * q) * Z^2 * N}{E^2 * (N - 1) + (p * q) * Z^2}$							
q	0.5								
Z	1.65								
N	111	Valor de Z α	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
E	0.100	Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%
n	42								
Leyenda									
N	Número de procesos de reparaciones								
n	muestra de número de reparaciones								
p	probabilidad que los elementos de la muestra sean parecidos a los resultados								
q	probabilidad que los elementos de la muestra no sean parecidos a los resultados								
Z	valor por nivel de confianza								
E	margen de error								

Figura 89. Tamaño de muestra para la cantidad de replicas

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Con respecto al periodo por réplica se ha asumido 300 días. Por lo tanto, los modelos de los dos procesos se presentan en la figura 90 y 91 a continuación:

Figura 90. Modelo en Arena del proceso actual

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Figura 91. Modelo en Arena del proceso de mejora

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Al ejecutar ambos modelos, se obtuvieron los siguientes resultados como se presenta en la figura 92:

Proceso de Reparación Actual

Replications: 42Time Units: Days

Entity

Time

VA Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

16.19163.259.966857.44597.842391.4685

NVA Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Wait Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

3.74871.900.0034.73740.0045.8627

Transfer Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Other Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Total Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

19.94034.369.966884.18157.842398.5039

Proceso de Reparación Mejora

Replications: 42Time Units: Days

Entity

Time

VA Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

5.95020.284.981710.09344.938010.0934

NVA Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Wait Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.030538440.060.001.28260.003.0171

Transfer Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Other Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

0.000.000.000.000.000.00

Total Time

reparación

AverageHalf WidthMinimum AverageMaximum AverageMinimum ValueMaximum Value

5.98080.294.981710.09344.938010.0934

Figura 92. Resultados de la ejecución de las simulaciones en el actual y en la mejora

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Los resultados obtenidos en la simulación, a continuación, se comparan con los resultados obtenidos en los cálculos (Cap. 2 y Cap. 3, de la presente investigación), como se muestra en la tabla 54 a continuación:

Tabla 54
Comparación de resultados (calculo vs simulación)

	ACTUAL				MEJORA			
	Cálculo	Simulación	Var	% Var	Cálculo	Simulación	Var	% Var
Proceso	14.50	16.190	1.692	12%	5.270	5.950	0.680	13%
Tiempo de espera	3.07	3.749	0.677	22%	0.237	0.030	0.207	87%
Proceso total	17.570	19.939	2.369	13%	5.507	5.980	0.473	9%

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 54 se observa, entre los valores calculados y simulados del proceso actual existe una variación del 13% de 17.570 días (histórico) y 19.939 días para la simulación. Así mismo, la variación entre los resultados del proceso de mejora entre los calculados y simulados es de 9%, encontrándose en el rango del proceso actual. Por lo tanto, se puede establecer que la propuesta de mejora al enfocarse en la implementación de las herramientas Lean reduce el proceso de servicio o de operación de 14.50 al 5.270 con los valores calculados y para la simulación de 16.19 días a 5.95 días habiendo una reducción de 9.23 días y 10.24 días respectivamente. Por otro lado, el tiempo de espera se ha disminuido de 3.07 a 0.237 días para los calculados y de 3.749 a 0.030 días para la simulación, habiendo una reducción de 2.84 y 3.72 días para los procesos actual y mejora. Se ha comparado con el proceso actual de tal forma que se verifique que los datos calculados para la mejora se encuentren dentro de los rangos aceptados por el proceso actual. En consecuencia, se concluye que la implementación de la propuesta de mejora es factible en la empresa.

5.2 Evaluación económica

En la evaluación económica se ha trabajado con los valores hallados de inversión y ahorros para la implementación de las herramientas Lean, ya que esta evaluación económica se refiere únicamente a la factibilidad de la implementación del proyecto. Para los cálculos

del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) proyectado a 5 años, se debe primero calcular el índice del costo de oportunidad (COK) y, por último, la comparación de los diferentes escenarios esperado, pesimista y optimista.

5.2.1 Costo de oportunidad

Para el cálculo del costo de oportunidad, se ha seleccionado el método CAPM (Capital Asset Price Model), de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$CAPM = R_f + (\beta * R_m) + R_{país}$$

En donde:

R_f: Tasa libre de riesgo

B: Beta apalancada

R_m: Prima de riesgo

R_{país}: Riesgo país

Y el valor de la beta apalancada se calcula de:

$$\beta = \beta_{no\ apalancada} * \left(1 + \left((1 - T) * \left(\frac{D}{C} \right) \right) \right)$$

En donde:

T: Tasa de Renta Perú

D/C: Índice Deuda/ capital

La deuda es la inversión que se incurrirá para el proyecto y el capital que se considera es propio de la empresa.

Por lo tanto, se ha hallado los siguientes valores como se visualiza e la tabla 55 (referirse al Anexo 3, en donde se muestra los valores que se obtuvieron y sus fuentes):

Tabla 55
Cálculo del índice de costo de oportunidad

Cálculo COK			Fuente
Rf	Tasa libre de riesgo	3.03%	Us Treasury Bond
	Beta no apalancada	1.20	Auto & Camiones
β	Beta apalancada	5.95	Cálculo
T	Tasa de Renta Perú	28%	Tasa de Renta Perú
D/C	Deuda y capital	5.50	
Rm	Prima de riesgo	1.27%	Perú
Rpaís	Riesgo país	1.20%	Ambito.Com
CAPM		11.79%	

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Para el cálculo del índice deuda capital (D/C), se ha determinado que el capital que se utilizará para el proyecto es de US\$ 49,244.82 y se generará una deuda de US\$ 270,846.52 por un periodo de 5 años.

En la tabla 55, el valor del COK o CAPM es de 11.79%, este valor se utiliza en los flujos de caja, para el cálculo de VAN y TIR.

5.2.2 Escenario del VAN y TIR

El primer escenario que se obtiene es el escenario esperado, debido a que, se desarrolla de acuerdo con los valores calculados en el desarrollo de la propuesta de mejora, se tomarán los valores de inversión y ahorros, como se observa en la tabla 56 a continuación:

Tabla 56

Inversión y ahorros de la propuesta de mejora

	Inversión	Ahorros
Capacitación	\$ 129.041,35	
Activos	\$ 81.600,00	
Contratación	\$ 109.450,00	
Ahorros		\$ 171.367,90
	\$ 320.091,35	\$ 171.367,90
Periodo de implementación		5 años

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

En la tabla 57, se muestra que la inversión de la implementación de las herramientas Lean Manufacturing en la empresa es de US\$320,091.35 y los ahorros anuales son de US\$171,367.90. Estos últimos deben asumirse como el mismo monto para el periodo de los 5 años, ya que si se asume un incremento anual podría este variar el ahorro que sea menor al calculado, por lo que, se toma el mismo monto de ahorros como una constante para los 5 años.

Tabla 57
Escenario: Esperado

FLUJO DE CAJA						
ESPERADO						
Supuestos						
Depreciación de capital	100%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuesto (T)	28%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	11,79%					
		1	2	3	4	5
Ahorros		\$ 171.367,90	\$ 171.367,90	\$ 171.367,90	\$ 171.367,90	\$ 171.367,90
(-) Costos (Costos directos y planilla directa)						
(-) Depreciación		\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00
(=) UAII = EBIT		\$ 155.047,90	\$ 155.047,90	\$ 155.047,90	\$ 155.047,90	\$ 155.047,90
(-) Impuestos		\$ -43.413,41	\$ -43.413,41	\$ -43.413,41	\$ -43.413,41	\$ -43.413,41
(+) Depreciación		\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49
Inversión	\$ -320.091,35					
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	\$ -320.091,35	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49	\$ 127.954,49
VAN	\$ 143.576,72					
TIR	28,62%					

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Bajo estos supuestos, se calcula un VAN de US\$143,576.72 y una TIR de 28.62%, lo cual indica que el proyecto es factible al ver el resultado del $VAN > 0$ y $TIR > COK$.

Para el escenario pesimista se observa en la tabla 58 el valor de la TIR debe asumirse como muy cercano al valor del COK, pero mayor que el mismo valor del COK y que resulte con un VAN mayor que cero, por lo que se utilizó la herramienta de Excel, llamado Goal Seek para ingresar un valor de la TIR asumido, calculándose que los ahorros pueden disminuir de US\$141,208.32 a US\$ 116,356.62.

Tabla 58

Escenario Pesimista: Suposición de la TIR = 11.79%

Goal Seek	
TIR	11,79%
	82%
Esperado	Pesimista
\$ 141.208,32	\$ 116.356,62

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, el flujo de caja da como resultado un VAN = 48.95 mayor que cero y la TIR > COK, como se visualiza en la tabla 59 a continuación:

Tabla 59

Escenario Pesimista

FLUJO DE CAJA						
PESIMISTA						
Supuestos						
Depreciación de capital	100%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuesto (T)	28%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	11,79%					
		1	2	3	4	5
Ahorros		\$ 116.356,62	\$ 116.356,62	\$ 116.356,62	\$ 116.356,62	\$ 116.356,62
(-) Costos (Costos directos y planilla directa)						
(-) Depreciación		\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00
(=) UAII = EBIT		\$ 100.036,62	\$ 100.036,62	\$ 100.036,62	\$ 100.036,62	\$ 100.036,62
(-) Impuestos		\$ -28.010,25	\$ -28.010,25	\$ -28.010,25	\$ -28.010,25	\$ -28.010,25
(+) Depreciación		\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37
Inversión	\$ -320.091,35					
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	\$ -320.091,35	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37	\$ 88.346,37
VAN	\$	48,95				
TIR		11,80%				

Adaptado de "LA EMPRESA", por elaboración propia, 2018

Y, por último, para el escenario optimista, se realiza el mismo procedimiento, pero asumiendo una TIR mayor que la TIR calculada en el escenario esperado de 28.62% lo que incrementará los ahorros en un 101%, equivalente a un total de US\$174,509.05.

Tabla 60

Escenario Optimista: Suposición de la TIR > 28.62%

Goal Seek	
TIR mayor que	28,62%
Incremento Ahorro	101%
Esperado	Optimista
\$ 172.931,34	\$ 174.509,05

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, se valida el $VAN > 0$ y la $TIR > COK$, como se muestra en la tabla 61 a continuación:

Tabla 61

Escenario Optimista

FLUJO DE CAJA						
OPTIMISTA						
Supuestos						
Depreciación de capital	100%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuesto (T)	28%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	11,79%					
		1	2	3	4	5
Ahorros		\$ 174.509,05	\$ 174.509,05	\$ 174.509,05	\$ 174.509,05	\$ 174.509,05
(-) Costos (Costos directos y planilla directa)						
(-) Depreciación		\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00	\$ -16.320,00
(=) UAII = EBIT		\$ 158.189,05	\$ 158.189,05	\$ 158.189,05	\$ 158.189,05	\$ 158.189,05
(-) Impuestos		\$ -44.292,93	\$ -44.292,93	\$ -44.292,93	\$ -44.292,93	\$ -44.292,93
(+) Depreciación		\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00	\$ 16.320,00
Flujo Económico de Operación (FEO)		\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11
Inversión	\$ -320.091,35					
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	\$ -320.091,35	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11	\$ 130.216,11
VAN	\$ 151.772,15					
TIR	29,52%					

Adaptado de “LA EMPRESA”, por elaboración propia, 2018

Por lo tanto, se concluye que la implementación de la propuesta de mejora también es factible.

5.3 Impactos

Los impactos que la propuesta de mejora entregará, es específicamente enfocada en la mejora del proceso actual logrando un proceso más rápido y estandarizado, de tal manera que no se incurra en costos por desperdicios los cuales son los más perjudiciales para cualquier empresa.

6 CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- De acuerdo con los casos estudiados, la implementación de las herramientas balance de línea y nivelación de la producción (Heijunka) reduce los despilfarros del proceso de reparación de equipos, por ejemplo, reduciendo el tiempo del proceso de 17.57 a 5.51 días y el nivel de servicio incrementa de 15.32% a 80.18%.
- Se ha determinado que el problema es el mal planeamiento de la reparación debido al cuello de botella que se generan en el proceso de reparación, teniendo como efecto principal la demora en la entrega de equipos reparados, ocasionado por la causa raíz de un falta de procedimiento estándar y equipos y herramientas dañados y fuera de servicios, por deficiencias en diferentes actividades del propio proceso de reparación como deficientes cambios, deficientes desmontajes y deficientes mantenimientos en las diferentes etapas del proceso.
- El impacto económico es de \$ 455,011.33 por los despilfarros generados en la demora en la entrega, cuellos de botella en el proceso y la generación de deficientes actividades de reparación o reproceso.
- Para la metodología de Lean Manufacturing, se guío de las 5 etapas lo cual direcciono el término de la tesis y lograr la eliminación de cuello de botella al mejorar el planeamiento de reparación.
- Al utilizar las herramientas VSM (mapa de cadena de valor), producción nivelada y balance de línea se logra la estandarización del proceso de reparación. Lográndose la reducción del proceso de reparación de maquinaria pesada de 17.57 a 5.507 días, por lo que se concluye al mejorar los procesos se optimiza recursos, y lo que conlleva a tener los objetivos planteados de La empresa. Por medio de la simulación en Arena se valida la implementación de la propuesta de mejora, ya que, el tiempo del proceso de fabricación del marco es de 19.939 días (simulación

del proceso actual) se redujo a 5.98 días (simulación de la propuesta de mejora), siendo los valores calculados de 17.57 a 5.507 días, respectivamente.

- Por medio de la validación financiera, se llega al resultado que el VAN de \$ 143,576.72 es mayor que cero y la TIR de 28.62% es mayor que el costo de oportunidad de 11.79 %, lo cual indica que la implementación del proyecto es factible.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda fomentar la aplicación de las herramientas PCDA para la mejora continua en todo el taller, de forma que se cree una cultura de mejora continua y se tenga conciencia de la importancia de la adecuada gestión de las actividades y procesos, que permitan eliminar posibles fallas en las reparaciones de equipos.
- En los estudios que se llevó a cabo en el balanceo de líneas de montaje, los investigadores pueden examinar diferentes opciones de líneas de producción con técnicas de simulación y crear diferentes escenarios. Al determinar los resultados de los escenarios que han creado, pueden contribuir al ahorro de tiempo y costos de las empresas
- Continuar con la mejora continua de la filosofía Lean para llegar a cero mudas o despilfarros.
- Continuar con el análisis del impacto económico previo a la ejecución del proyecto.
- Utilizar otras herramientas de la filosofía Lean como Andon, Kanban, Diseño de planta, entre otros para implementar el proceso de mejora.
- El capital humano es un factor importante en el ciclo de la mejora continua del proceso. Por esta razón, deberá ser sensibilizado e integrado para alcanzar los objetivos propuestos.

7 REFERENCIAS

- Añaguari, M., y Gisbert, V. (2016). Manufacturing Como. 3C Tecnología, 5(19), 20 – 29.
- Bhat, S., J., P., S., P., Pais, K. P., Vaz, S. R., y R., H. S. (2017). A Study on Implementation of Lean Methodology in the Plywood Industry. Management, 7(5), 174 – 179. doi: 10.5923/j.mm.20170705.03
- Botero, A. (2010). Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. Gestión y Sociedad, 88.
- Charles, L., y Beltrán, Q. (2017). Metodología dinámica para la implementación de 5' s en el área de producción de las organizaciones, Ciencias estratégicas, 25(38), 411 – 423. doi: rces.v25n38.a9
- Chen, W., Zou, L., Liu, J., y Yang, X. (2015). The Evaluation Method for Enterprise Group Information Planning and Implementation Based on PDCA Cycle, 335 – 336. doi: 10.1007/978-3-319-12286-1_34
- Contreras-Casta, E. D., Zambrano-Arroyo, D. E., y Vaca-Barrera, Y. F. (2018). Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia. Espacios, 39(16), 30. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p30.pdf>
- Coronado-Hernández, J. R., y Mateus, H. O. (2012). Incorporación de Riesgos Ergonómicos en el Balanceo de Líneas de Ensamble en U. Working Papers on Operations Management, 4(2), 29 – 43. doi: 10.4995/wpom.v4i2.1164
- Escaida, I., Jara, P., y Letzkus, M. (2016). Mejora de procesos productivos mediante lean manufacturing. Universia Business Review, 14(2), 263 – 277. Doi: 10.4067/S0718-33052014000200012
- Fahmi, S. M., Abdelwahab, T. M., Amin, Y., Emam, M. S., Youssef, H., Ragab, A., ... Dekheila, A. (2014). Innovative Implementation of Several Lean Principles in a Flat Steel Plant: a Case Study, (2007), 1187 – 1197.
- Figueredo, F. (2015). Aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso de producción de concreto. Ingeniería Industrial. Actualidad Y Nuevas Tendencias Año, 8(1856–8327), 19.

- Group, H. (2018). Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management Systems*, 2, 244 – 246.
- Fernández, M., Shkiliova, L. y Lora, D. (2015). La gestión en los talleres de mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola de Cuba, *Ingeniería Agrícola* 5(3), 53 – 56.
- Johnson, C. N. (2016). The benefits of PDCA, 45. Recuperado de file:///C:/Users/peter/Downloads/c.- The benefits PDCA.pdf
- Karen, E., Caballero, A., Alberto, M., y Medina, Q. (2015). Análisis De Mejoramiento De Tiempos En Atención a Clientes En Cfe Implementando Teoría De Colas, *Revista académicas*, 7 (2), 290–296.
- Kumar, R., y Kumar, V. (2016). Operational performance improvement by implementation of value stream mapping - A case study from Indian industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 19(4), 526 – 541. doi: 10.1504/IJPQM.2016.080156
- Kurnia, I., y Suryanto. (2017). Efisiensi waktu kerja proses packaging dengan metode PDCA (Plan Do Check Action) di pt lemino abadi jaya, 11, 10 – 20. Recuperado de <https://jurnal.teknikunkris.ac.id/index.php/Teknokris/article/view/139>
- Liao, W., Chen, M., y Yang, X. (2017). Joint optimization of preventive maintenance and production scheduling for parallel machines system. *Journal of Intelligent y Fuzzy Systems*, 32(1), 913 – 923. doi: 10.3233/JIFS-161385
- Mekelle, A. T. (2016). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques: A Conceptual Model of Lean. *REST*, 2(3), 62 - 72.
- Mostafa, S., Dumrak, J., y Soltan, H. (2015). Lean Maintenance Roadmap. *Procedia Manufacturing*, 2, 434 – 444. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.076
- Nacional Mayor de San Marcos Perú García Zapata, U., Doria, T., y Sancho Dávila, S. (2013). Modelo de mejora de la competitividad basada en indicadores críticos de gestión en las pequeñas empresas de servicios de mantenimiento de equipos

- pesados. *Industrial Data*, 16(1), 37 – 49. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/816/81629469005.pdf>
- Orozco, P., León, D., García, N., María, Á., Grisales, R., y Alberto, R. (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica*, 21(3), 239 – 247.
- Paredes, M. L. G. C. (2016). Implementación al proceso de producción-etiquetado de envases PET, 8(2), 11 – 16.
- Pietrzak, M., y Paliszkiewicz, J. (2015). Framework of Strategic Learning: The PDCA Cycle. *Management*, 10(2), 149 – 161. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=110130672&site=eds-live>
- Saptari, A., Leau, J. X., y Nor Akramin, M. (2015). Optimizing Assembly Line Production through Line Balancing: A Case Study. *Applied Mechanics and Materials*, 761(May 2015), 104–108. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.761.104
- Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., y Bocanegra, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *EAN*, (83), 51 – 71. doi: 10.21158/01208160.n83.2017.1825
- Soler, V. G. (2015). Lean manufacturing. Qué es y qué no es, errores en su aplicación e interpretacion más usuales. *3C Ciencias*, 4(1), 42–52.
- Sundar, R., Balaji, A. N., y Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875 – 1885. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.341
- Syahputri, K., Leviza, J., Sari, S., T, I. R., Napitupulu, H., y Anizar, A. (2018). Assembly line balancing in an electronics company using simulation approach. *EDP Sciences*, 14010(197), 1–5.
- Tapia Coronado, J., Escobedo Portillo, T., Barrón López, E., Martínez Moreno, G., Estebané Ortega, V., Tapia Coronado, J., ... Estebané Ortega, V. (2017). Marco de

- Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia y Trabajo*, 19(60), 171 – 178. doi: 10.4067/S0718-24492017000300171
- Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia Y Sociedad*, 17 (2), 276 – 310. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87019757005.pdf>
- Varoneckas, A., Mackutė-Varoneckienė, A., y Krilavičius, T. (2017). A Review of Predictive Maintenance Systems in Industry 4.0. *International Journal of Design*, 6(1), 68 – 68.
- AdrianaTisca, I., Cornu, G., Diaconu, N., y Dan Dumitrescu, C. (2015). Diagnosis, risk and efficiency in the implementation of TQM in small and medium enterprises. *Science Direct*, 215–218. doi:10.1016/S2212-5671(15)00818-7
- Bonfatti Júnior, E. A., Lengowsk, E. C., y Ludka Júnior, A. (2018). Mapeamento do processo produtivo de ERVA-MATE. *Internacional de Ciências*, 8(1), 82-98. doi:10.12957/ric.2018.32500
- Castka, P., y Balzarova, M. A. (2016). An exploration of interventions in ISO 9001 and ISO 14001 certification context – a multiple case study approach. *Journal of Cleaner Production*, 1 - 24. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.096
- Garrido, J. (2018, febrero 13). El Comercio. Recuperado de junio 28, 2018, <https://elcomercio.pe/economia/dia-1/maquinaria-pesada-son-equipos-pedidos-noticia-496745>
- Garrido, J. (2018, junio 15). El Comercio. Recuperado de junio 29, 2018, <https://elcomercio.pe/economia/pbi-peruano-crece-abril-mejor-ritmo-cinco-anos-noticia-528002>
- Hernandez Palma, H. G., Martinez Sierra, D., y Cardona Arbelaez, D. (2015). Enfoque basado en procesos como estrategia de dirección para las empresas de transformación. *Saber, Ciencia y Libertad*, 11(1), 141-150. doi: 1794 - 7154
- Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2018). Producción Nacional. Lima: INEI. Recuperado de junio 27, 2017,

<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/06-informe-tecnico-n06-produccion-nacional-abr2018.pdf>

- Lira Segura, J. (2018, febrero 21). Gestión. Recuperado de junio 28, 2018, <https://gestion.pe/suplemento/comercial/maquinarias-camiones/conoce-como-se-tercerizan-servicios-maquinaria-pesada-1003287>
- Pascual J., R. (2005). El Arte de Mantener. Santiago: Dpto. Ing. Mecánica, U.de Chile. Recuperado de junio 29, 2018, https://kupdf.net/download/me57a_5a719735e2b6f5e4175aa874_pdf#
- Paz Quiroz, F. A. (2016, julio 28). Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. El Peruano, p. 50.
- Paz Quiroz, F. A. (2017, diciembre 21). Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. El Peruano, p. 18.
- Ruiz Fuentes, D., Almaguer Torres, R. M., Torres Torres, I. C., y Hernández Peña, A. M. (2013). La gestión por procesos, su surgimiento y aspectos teóricos. Ciencias Holguín, 19(4), 1-11. doi:1027-2127
- Thor Ingason, H. (2014). Best Project Management Practices in the Implementation of an ISO 9001 Quality Management System. Science Direct, 192 – 200. doi:10.1016/j.sbspro.2015.06.133
- Valmohammadi, C., y Roshanzamir, S. (2014). The guidelines of improvement: Relations among organizational culture, TQM and performance. Int. J. Production Economics, 1 - 27. doi: 10.1016/j.ijpe.2014.12.028
- Villa González Del Pino, E., Pons Murguía, R., y Bermúdez Villa, Y. (2013). Metodología para la gestión del proceso de investigación de un programa universitario. INGE CUC, 9(1), 65-82.
- Zhou, F., Gu, X., y Zhao, Y. (2018). Effect and Mechanism of Total Quality Management on Enterprise Innovation Performance Based on Cognitive Behavior Science. 16(6), 268 - 274. doi: 10.14704/nq.2018.16.6.1552

8 SIGLARIO

AHP: El Proceso de Análisis Jerárquico

CAPM: Modelo de Valoración de Activos de Capital

CMD: Demanda Común de Mercado

COK: Costo de Oportunidad del Capital

DAP: Diagrama de Actividades del Proceso

EFQM: Fundación Europea para la Gestión de la Calidad

HH: Horas Hombre

HP: Horas de Planta

ISO: Organización Internacional de Normalización

LH: Lado Izquierdo

MTO: Hacer el Pedido

MTS: Hacer Inventario

PDCA: Ciclo de Deming

SIPOC: Proveedor, Entrada, Proceso, Salida y Cliente

SLBP: Simple problema de equilibrado de la línea de montaje

SMED: Cambio de Matriz en menos de 10 minutos

TIR: Tasa de Interna de Retorno

TQM: Gestión de la Calidad Total

TRAM: Tiempo Realizado por el Área de Mantenimiento

TSAC: Tiempo Solicitado por el Área Comercial

VAN: Valor Actual Neto

VSM: Mapa del Flujo del Valor

9 ANEXOS

Anexo1: Tiempos entregados por la empresa

Orden de Item trabajo (OT)	Familia	Código Interno	Descripción	Marca	Modelo	Año	Serie	Inicio de contrato	Contrato meses	Contrato días	Venta	Ingreso a taller	Taller días	Entrega	Tipo de mantenim ento	Recepción	Diagnóstico	Presupuesto	Compras	Reparación	Pruebas	Entrega	T.R.A.M (Tiempo realizado por el área mantenimi ento) días		
1	OT_451	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81415	06/10/2016	3	90	\$ 34,434.78	04/01/2017	17.642	21/01/2017	Preventivo	0.266	1.097	0.588	2.561	12.197	0.612	0.321	17.642	
2	OT_452	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81614	25/10/2016	3	90	\$ 34,434.78	23/01/2017	12.409	04/02/2017	Preventivo	0.331	1.125	0.553	2.543	6.995	0.507	0.355	12.409	
3	OT_453	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81608	28/08/2016	5	150	\$ 57,391.30	25/01/2017	2	18.683	12/02/2017	Correctivo	0.356	1.234	0.580	4.118	11.578	0.532	0.285	18.683
4	OT_454	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	08/09/2016	5	150	\$ 16,695.65	05/02/2017	11	18.72	23/02/2017	Preventivo	0.264	1.135	0.573	4.056	11.779	0.529	0.384	18.720
5	OT_455	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81368	24/07/2016	7	210	\$ 80,347.83	19/02/2017	14	13.602	04/03/2017	Preventivo	0.362	1.015	0.560	2.016	8.699	0.543	0.407	13.602
6	OT_456	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81644	08/08/2016	7	210	\$ 80,347.83	06/03/2017	15	13.138	19/03/2017	Correctivo	0.360	1.109	0.576	3.678	6.246	0.863	0.306	13.138
7	OT_457	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	40023	23/07/2016	8	240	\$ 91,826.09	20/03/2017	14	21.536	10/04/2017	Preventivo	0.279	1.069	0.606	3.529	14.804	0.784	0.465	21.536
8	OT_458	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2DE809450	27/11/2016	4	120	\$ 13,356.52	27/03/2017	7	11.326	07/04/2017	Preventivo	0.369	1.143	0.550	2.480	5.954	0.359	0.471	11.326
9	OT_459	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	07/09/2016	7	210	\$ 51,860.87	05/04/2017	9	23.769	28/04/2017	Preventivo	0.270	1.005	0.571	4.315	16.772	0.394	0.442	23.769
10	OT_460	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81415	21/01/2017	3	90	\$ 34,434.78	21/04/2017	16.642	20.89	12/05/2017	Preventivo	0.342	1.004	0.517	3.034	15.330	0.297	0.366	20.890
11	OT_461	VOL	VOLP0016	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D8EE809716	02/08/2016	9	270	\$ 30,052.17	29/04/2017	7.358	17.785	16/05/2017	Preventivo	0.275	1.099	0.549	4.955	9.769	0.758	0.380	17.785
12	OT_462	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3EE809449	02/12/2016	5	150	\$ 16,695.65	01/05/2017	2.529	9.226	10/05/2017	Correctivo	0.311	1.028	0.591	2.036	4.062	0.839	0.359	9.226
13	OT_463	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809451	03/12/2016	5	150	\$ 16,695.65	02/05/2017	0.557	18.464	20/05/2017	Preventivo	0.338	1.000	0.595	2.439	13.305	0.360	0.427	18.464
14	OT_464	CFR	CFRP0005	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91162	22/12/2016	5	150	\$ 45,913.04	21/05/2017	18.914	15.88	05/06/2017	Preventivo	0.349	1.062	0.585	3.514	9.699	0.396	0.275	15.880
15	OT_465	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	22/02/2017	3	90	\$ 10,017.39	23/05/2017	2	24.033	16/06/2017	Correctivo	0.318	1.216	0.623	3.118	17.633	0.839	0.286	24.033
16	OT_466	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	23/02/2017	3	90	\$ 10,017.39	24/05/2017	1.72	9.975	03/06/2017	Preventivo	0.312	1.091	0.556	2.829	4.562	0.276	0.349	9.975
17	OT_467	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81368	04/03/2017	3	90	\$ 34,434.78	02/06/2017	8.882	11.584	14/06/2017	Preventivo	0.307	1.137	0.620	2.453	6.118	0.671	0.278	11.584
18	OT_468	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81608	12/02/2017	4	120	\$ 45,913.04	12/06/2017	10.081	24.826	07/07/2017	Correctivo	0.363	1.186	0.506	3.311	18.675	0.296	0.439	24.826
19	OT_469	VOL	VOLP0006	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2DE808392	18/08/2016	10	300	\$ 33,391.30	14/06/2017	1.317	23.732	07/07/2017	Preventivo	0.330	1.221	0.613	4.641	15.887	0.606	0.434	23.732
20	OT_470	VOL	VOLP0020	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809717	24/10/2016	8	240	\$ 26,713.04	21/06/2017	7	13.584	04/07/2017	Preventivo	0.252	1.225	0.588	4.038	6.794	0.258	0.429	13.584
21	OT_471	VOL	VOLP0009	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02DXDE808801	28/12/2016	6	180	\$ 20,034.78	26/06/2017	5	11.753	07/07/2017	Preventivo	0.263	1.138	0.609	4.363	4.705	0.396	0.279	11.753
22	OT_472	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	01/12/2016	7	210	\$ 73,043.48	29/06/2017	3	12.651	11/07/2017	Preventivo	0.309	1.027	0.574	2.226	7.639	0.377	0.499	12.651
23	OT_473	VOL	VOLP0005	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3DE808788	01/02/2017	5	150	\$ 16,695.65	01/07/2017	2	9.505	10/07/2017	Correctivo	0.312	1.074	0.599	4.823	2.084	0.251	0.362	9.505
24	OT_474	VOL	VOLP0007	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809248	03/12/2016	7	210	\$ 23,373.91	01/07/2017	0	12.363	13/07/2017	Preventivo	0.320	1.194	0.625	3.050	6.013	0.807	0.354	12.363
25	OT_475	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2EE809450	07/04/2017	3	90	\$ 10,017.39	06/07/2017	5.326	16.926	23/07/2017	Correctivo	0.299	1.029	0.575	4.480	9.601	0.535	0.407	16.926
26	OT_476	EXC	EXCP0004	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10851	10/11/2016	8	240	\$ 83,478.26	08/07/2017	1.674	18.828	26/07/2017	Preventivo	0.366	1.118	0.598	2.118	13.662	0.702	0.264	18.828
27	OT_477	VOL	VOLP0021	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7EE809383	28/07/2016	12	360	\$ 40,069.57	23/07/2017	15	18.267	10/08/2017	Correctivo	0.353	1.006	0.511	2.898	12.226	0.799	0.474	18.267
28	OT_478	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	40023	10/04/2017	4	120	\$ 45,913.04	08/08/2017	16.536	13.463	21/08/2017	Correctivo	0.363	1.193	0.580	4.634	5.648	0.778	0.267	13.463
29	OT_479	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81424	10/02/2017	6	180	\$ 68,869.57	09/08/2017	0.464	15.543	24/08/2017	Preventivo	0.312	1.230	0.524	3.112	9.755	0.297	0.313	15.543
30	OT_480	EXC	EXCP0005	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10853	17/08/2016	12	360	\$ 125,217.39	12/08/2017	3	16.655	28/08/2017	Preventivo	0.289	1.132	0.576	2.238	11.774	0.250	0.396	16.655
31	OT_481	VOL	VOLP0022	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D9EE809090	23/04/2017	4	120	\$ 13,356.52	21/08/2017	9	24.863	14/09/2017	Preventivo	0.374	1.041	0.567	4.607	17.361	0.449	0.464	24.863
32	OT_482	RET	RETP0002	RETROEXCAVADORA	JCB	3C	2013	JCB3CATCC02111509	24/02/2017	6	180	\$ 23,791.30	23/08/2017	2	13.505	05/09/2017	Preventivo	0.374	1.096	0.621	4.312	6.093	0.629	0.380	13.505
33	OT_483	MOT	MOTP0003	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55483	29/10/2016	10	300	\$ 74,086.96	25/08/2017	2	11.459	05/09/2017	Preventivo	0.314	1.206	0.544	4.275	3.964	0.803	0.353	11.459
34	OT_484	VOL	VOLP0001	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7DE808782	28/02/2017	6	180	\$ 20,034.78	27/08/2017	2	18.598	14/09/2017	Preventivo	0.291	1.061	0.525	3.465	12.073	0.800	0.383	18.598
35	OT_485	VOL	VOLP0019	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809377	30/11/2016	9	270	\$ 30,052.17	27/08/2017	0	20.169	16/09/2017	Correctivo	0.371	1.132	0.508	4.957	11.974	0.853	0.374	20.169
36	OT_486	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81614	04/02/2017	7	210	\$ 80,347.83	02/09/2017	6.409	19.31	21/09/2017	Preventivo	0.353	1.017	0.570	2.542	13.583	0.862	0.383	19.310
37	OT_487	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81415	12/05/2017	4	120	\$ 45,913.04	09/09/2017	7.123	12.537	22/09/2017	Preventivo	0.251	1.045	0.539	3.973	6.017	0.423	0.289	12.537
38	OT_488	CFR	CFRP0001	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91086	15/01/2017	8	240	\$ 73,460.87	12/09/2017	2.468	12.747	24/09/2017	Preventivo	0.337	1.080	0.529	3.526	6.143	0.829	0.303	12.747
39	OT_489	TOR	TORP0007	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81403	19/11/2016	10	300	\$ 114,782.61	15/09/2017	3	16.533	01/10/2017	Correctivo	0.257	1.001	0.517	3.195	10.873	0.352	0.338	16.533
40	OT_490	EXC	EXCP0006	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10855	18/04/2017	5	150	\$ 52,173.91	15/09/2017	0	17.462	02/10/2017	Correctivo	0.311	1.091	0.586	3.789	10.450	0.803	0.432	17.462
41	OT_491	CFR	CFRP0002	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91087	20/09/2016	12	360	\$ 110,191.30	15/09/2017	0	15.783	30/09/2017	Preventivo	0.348	1.132	0.527	4.016	8.559	0.769	0.432	15.783
42	OT_492	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D6SEX-16	2013	81644	19/03/2017	6	180	\$ 68,869.57	15/09/2017	0.138	8.797	23/09/2017	Correctivo	0.254	1.203	0.530	4.308	1.436	0.764	0.302	8.797
43	OT_493	MOT	MOTP0002	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55359	26/01/2017	8	240	\$ 59,269.57	23/09/2017	7.862	17.331	10/10/2017	Preventivo	0.256	1.064	0.603	3.910	10.563	0.595	0.340	17.331
44	OT_494	EXC	EXCP0001	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10804	03/11/2016	11	330	\$ 114,782.61	29/09/2017	6	11.422	23/10/2017	Correctivo	0.292	1.121	0.620	4.882	3.661	0.366	0.480	11.422
45	OT_495	VOL	VOLP0004	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93																	

50	OT_500	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	11/07/2017	3	90	\$	31,304.35	09/10/2017	0.651	14.678	24/10/2017	Preventivo	0.370	1.206	0.546	3.453	7.960	0.779	0.364	14.678
51	OT_501	VOL	VOLP0007	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809248	13/07/2017	3	90	\$	10,017.39	11/10/2017	1.712	25.299	05/11/2017	Correctivo	0.333	1.116	0.571	4.208	18.036	0.642	0.393	25.299
52	OT_502	TOR	TORP0006	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81367	14/06/2017	4	120	\$	45,913.04	12/10/2017	0.637	16.469	28/10/2017	Correctivo	0.358	1.177	0.595	2.556	11.121	0.279	0.383	16.469
53	OT_503	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81368	14/06/2017	4	120	\$	45,913.04	12/10/2017	0.186	11.956	24/10/2017	Preventivo	0.295	1.084	0.585	2.037	7.407	0.262	0.286	11.956
54	OT_504	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	16/06/2017	4	120	\$	13,356.52	14/10/2017	1.847	18.144	01/11/2017	Preventivo	0.285	1.044	0.555	4.231	10.774	0.808	0.447	18.144
55	OT_505	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809451	20/05/2017	5	150	\$	16,695.65	17/10/2017	3.517	19.163	05/11/2017	Correctivo	0.359	1.151	0.553	2.856	13.542	0.306	0.396	19.163
56	OT_506	VOL	VOLP0003	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808708	26/11/2016	11	330	\$	36,730.43	22/10/2017	4.45	10.336	01/11/2017	Correctivo	0.328	1.063	0.549	2.181	5.285	0.525	0.405	10.336
57	OT_507	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	28/04/2017	6	180	\$	44,452.17	25/10/2017	3.769	17.758	12/11/2017	Preventivo	0.344	1.189	0.529	3.336	11.337	0.674	0.349	17.758
58	OT_508	VOL	VOLP0012	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809308	23/04/2017	7	210	\$	23,373.91	19/11/2017	24.231	19.057	08/12/2017	Preventivo	0.271	1.160	0.581	2.596	13.832	0.354	0.263	19.057
59	OT_509	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2EE809450	23/07/2017	4	120	\$	13,356.52	20/11/2017	1.252	10.489	30/11/2017	Correctivo	0.372	1.219	0.507	4.864	2.420	0.648	0.459	10.489
60	OT_510	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81424	24/08/2017	3	90	\$	34,434.78	22/11/2017	2.291	10.412	02/12/2017	Correctivo	0.266	1.142	0.510	4.129	3.342	0.690	0.333	10.412
61	OT_511	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	03/06/2017	6	180	\$	20,034.78	30/11/2017	8.152	11.749	12/12/2017	Preventivo	0.325	1.038	0.582	3.359	5.373	0.814	0.258	11.749
62	OT_512	VOL	VOLP0006	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2DE808392	07/07/2017	5	150	\$	16,695.65	04/12/2017	4.037	22.465	27/12/2017	Preventivo	0.327	1.229	0.572	2.747	16.426	0.789	0.375	22.465
63	OT_513	VOL	VOLP0016	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D8EE809716	16/05/2017	7	210	\$	23,373.91	12/12/2017	8.053	10.093	22/12/2017	Correctivo	0.264	1.210	0.612	3.929	3.212	0.407	0.459	10.093
64	OT_514	VOL	VOLP0001	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7DE808782	14/09/2017	3	90	\$	10,017.39	13/12/2017	0.813	24.329	06/01/2018	Preventivo	0.311	1.196	0.610	2.310	18.891	0.620	0.391	24.329
65	OT_515	VOL	VOLP0022	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D9EE809090	14/09/2017	3	90	\$	10,017.39	13/12/2017	0.265	20.903	03/01/2018	Correctivo	0.368	1.125	0.570	3.280	14.537	0.703	0.320	20.903
66	OT_516	CFR	CFRP0001	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91086	24/09/2017	3	90	\$	27,547.83	23/12/2017	9.884	9.962	02/01/2018	Correctivo	0.252	1.074	0.567	3.598	3.693	0.376	0.402	9.962
67	OT_517	EXC	EXCP0005	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10853	28/08/2017	4	120	\$	41,739.13	26/12/2017	2.908	13.763	09/01/2018	Correctivo	0.314	1.244	0.575	3.920	6.751	0.677	0.282	13.763
68	OT_518	CFR	CFRP0005	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91162	05/06/2017	7	210	\$	64,278.26	01/01/2018	6.225	23.214	25/01/2018	Preventivo	0.337	1.133	0.617	3.138	17.062	0.659	0.268	23.214
69	OT_519	RET	RETP0002	RETROEXCAVADORA	JCB	3C	2013	JCB3C4TCV02111509	03/09/2017	4	120	\$	15,860.87	03/01/2018	1.625	13.969	07/01/2018	Correctivo	0.341	1.107	0.615	4.035	7.338	0.270	0.263	13.969
70	OT_520	VOL	VOLP0009	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02DXDE808801	07/07/2017	6	180	\$	20,034.78	03/01/2018	0.248	23.269	27/01/2018	Correctivo	0.262	1.134	0.604	4.433	15.721	0.649	0.466	23.269
71	OT_521	VOL	VOLP0005	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3DE808788	10/07/2017	6	180	\$	20,034.78	06/01/2018	2.752	24.209	30/01/2018	Preventivo	0.353	1.012	0.508	3.276	17.857	0.731	0.472	24.209
72	OT_522	EXC	EXCP0003	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10825	16/05/2017	8	240	\$	83,478.26	11/01/2018	4.495	22.895	02/02/2018	Preventivo	0.286	1.172	0.602	4.009	16.076	0.276	0.474	22.895
73	OT_523	VOL	VOLP0015	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809446	20/06/2017	7	210	\$	23,373.91	16/01/2018	5	9.004	25/01/2018	Correctivo	0.353	1.015	0.516	2.947	3.265	0.641	0.267	9.004
74	OT_524	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81614	21/09/2017	4	120	\$	45,913.04	19/01/2018	3.719	25.682	14/02/2018	Preventivo	0.357	1.018	0.552	4.369	18.438	0.664	0.284	25.682
75	OT_525	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	24/10/2017	3	90	\$	31,304.35	22/01/2018	2.61	24.11	15/02/2018	Correctivo	0.291	1.220	0.604	3.176	17.968	0.517	0.334	24.110
76	OT_526	TOR	TORP0005	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40038	24/10/2017	3	90	\$	34,434.78	22/01/2018	0.206	18.433	09/02/2018	Preventivo	0.264	1.202	0.501	4.844	10.664	0.494	0.464	18.433
77	OT_527	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3DE809449	24/10/2017	3	90	\$	10,017.39	22/01/2018	0.097	21.086	12/02/2018	Preventivo	0.270	1.085	0.548	4.196	13.716	0.853	0.418	21.086
78	OT_528	TOR	TORP0007	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81403	01/10/2017	4	120	\$	45,913.04	29/01/2018	6.901	10.194	08/02/2018	Correctivo	0.320	1.143	0.519	2.203	4.840	0.696	0.473	10.194
79	OT_529	VOL	VOLP0020	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809717	04/07/2017	7	210	\$	23,373.91	30/01/2018	1.051	24.447	24/02/2018	Correctivo	0.337	1.172	0.564	2.630	18.766	0.612	0.366	24.447
80	OT_530	VOL	VOLP0002	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809009	01/11/2017	3	90	\$	10,017.39	30/01/2018	0.022	25.944	25/02/2018	Preventivo	0.253	1.172	0.518	4.426	18.830	0.259	0.486	25.944
81	OT_531	MOT	MOTP0003	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55483	05/09/2017	5	150	\$	37,043.48	02/02/2018	2.853	14.063	16/02/2018	Correctivo	0.336	1.119	0.537	3.504	7.395	0.864	0.308	14.063
82	OT_532	VOL	VOLP0011	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809715	10/03/2017	11	330	\$	36,730.43	03/02/2018	0.541	19.94	22/02/2018	Preventivo	0.300	1.014	0.530	4.498	12.762	0.473	0.363	19.940
83	OT_533	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40023	21/08/2017	6	180	\$	68,869.57	17/02/2018	14.999	14.058	04/03/2018	Preventivo	0.264	1.209	0.533	2.780	8.411	0.362	0.499	14.058
84	OT_534	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81415	22/09/2017	5	150	\$	57,391.30	19/02/2018	1.07	15.529	06/03/2018	Preventivo	0.369	1.239	0.500	4.665	7.902	0.601	0.253	15.529
85	OT_535	EXC	EXCP0004	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10851	26/07/2017	7	210	\$	73,043.48	21/02/2018	2.759	21.228	15/03/2018	Preventivo	0.361	1.206	0.520	2.468	15.747	0.621	0.305	21.228
86	OT_536	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	01/11/2017	4	120	\$	13,356.52	01/03/2018	7.349	9.15	10/03/2018	Correctivo	0.266	1.133	0.527	3.096	3.256	0.467	0.405	9.150
87	OT_537	EXC	EXCP0006	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10855	02/10/2017	5	150	\$	52,173.91	01/03/2018	0.285	17.016	18/03/2018	Preventivo	0.369	1.181	0.548	3.761	10.423	0.267	0.467	17.016
88	OT_538	VOL	VOLP0021	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7EE809383	10/08/2017	7	210	\$	23,373.91	08/03/2018	6.805	26.29	03/04/2018	Correctivo	0.334	1.019	0.556	3.413	19.772	0.824	0.372	26.290
89	OT_539	MOT	MOTP0002	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55359	10/10/2017	5	150	\$	37,043.48	09/03/2018	1.064	22.691	01/04/2018	Correctivo	0.366	1.015	0.612	2.657	16.836	0.872	0.333	22.691
90	OT_540	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	12/12/2017	3	90	\$	10,017.39	12/03/2018	3.113	10.194	22/03/2018	Correctivo	0.273	1.045	0.625	4.014	3.140	0.646	0.451	10.194
91	OT_541	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	12/11/2017	4	120	\$	29,634.78	12/03/2018	0.083	21.593	03/04/2018	Preventivo	0.339	1.117	0.533	3.956	14.428	0.737	0.483	21.593
92	OT_542	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81644	23/09/2017	6	180	\$	68,869.57	22/03/2018	10.408	19.114	11/04/2018	Preventivo	0.292	1.031	0.582	2.638	13.693	0.507	0.371	19.114
93	OT_543	TOR	TORP0006	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81367	28/10/2017	5	150	\$	57,391.30	27/03/2018	4.534	24.496	20/04/2018	Preventivo	0.375	1.040	0.575	4.745	16.664	0.783	0.314	24.496
94	OT_544	CFR	CFRP0002	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	9																		

Anexo 2: Tiempos pronóstico Mejora

Item	Orden de trabajo (OT)	Familia	Código Interno	Descripción	Marca	Modelo	Año	Serie	Inicio de contrato	Contrato meses	Contrato días	Ingreso a taller	Taller	Entrega	Tipo de mantenimiento	Recepción	Diagnóstico	Presupuesto	Compras	Reparación	Pruebas	Entrega	Total
1	OT_451	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81415	06/10/2016	3	90	04/01/2017	5.696	09/01/2017	Preventivo	0.369	1.131	0.618	1.223	1.238	0.676	0.441	5.696
2	OT_452	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81614	25/10/2016	3	90	23/01/2017	5.717	28/01/2017	Preventivo	0.301	1.214	0.53	1.138	1.531	0.579	0.424	5.717
3	OT_453	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81608	28/08/2016	5	150	25/01/2017	5.351	30/01/2017	Preventivo	0.348	1.078	0.542	1.197	1.274	0.648	0.264	5.351
4	OT_454	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	08/09/2016	5	150	05/02/2017	5.173	10/02/2017	Correctivo	0.3	1.157	0.525	1.215	1.397	0.295	0.284	5.173
5	OT_455	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81368	24/07/2016	7	210	19/02/2017	5.306	24/02/2017	Preventivo	0.325	1.092	0.548	1.18	1.294	0.529	0.338	5.306
6	OT_456	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81644	08/08/2016	7	210	06/03/2017	5.222	11/03/2017	Preventivo	0.359	1.102	0.531	1.089	1.346	0.543	0.252	5.222
7	OT_457	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40023	23/07/2016	8	240	20/03/2017	5.162	25/03/2017	Preventivo	0.316	1.112	0.516	1.128	1.51	0.278	0.302	5.162
8	OT_458	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2EE809450	27/11/2016	4	120	27/03/2017	5.791	01/04/2017	Correctivo	0.298	1.249	0.602	1.23	1.468	0.644	0.3	5.791
9	OT_459	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	07/09/2016	7	210	05/04/2017	5.278	10/04/2017	Preventivo	0.342	1.098	0.614	1.215	1.263	0.337	0.409	5.278
10	OT_460	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81415	21/01/2017	3	90	21/04/2017	5.364	27/04/2017	Preventivo	0.278	1.113	0.597	1.167	1.481	0.362	0.366	5.364
11	OT_461	VOL	VOLP0016	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D8EE809716	02/08/2016	9	270	29/04/2017	5.276	04/05/2017	Preventivo	0.344	1.171	0.59	1.096	1.306	0.501	0.268	5.276
12	OT_462	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3EE809449	02/12/2016	5	150	01/05/2017	5.332	06/05/2017	Preventivo	0.364	1.035	0.608	1.175	1.571	0.298	0.281	5.332
13	OT_463	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809451	03/12/2016	5	150	02/05/2017	5.604	07/05/2017	Preventivo	0.369	1.029	0.534	1.079	1.532	0.649	0.412	5.604
14	OT_464	CFR	CFRP0005	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91162	22/12/2016	5	150	21/05/2017	5.753	26/05/2017	Preventivo	0.373	1.088	0.573	1.228	1.257	0.871	0.363	5.753
15	OT_465	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	22/02/2017	3	90	23/05/2017	5.329	28/05/2017	Correctivo	0.338	1.038	0.535	1.187	1.214	0.663	0.354	5.329
16	OT_466	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	23/02/2017	3	90	24/05/2017	5.421	30/05/2017	Correctivo	0.283	0.998	0.543	1.141	1.4	0.572	0.484	5.421
17	OT_467	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81368	04/03/2017	3	90	02/06/2017	5.21	07/06/2017	Preventivo	0.338	1.036	0.527	1.155	1.411	0.327	0.416	5.21
18	OT_468	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81608	12/02/2017	4	120	12/06/2017	5.714	18/06/2017	Correctivo	0.356	1.22	0.619	1.106	1.402	0.683	0.328	5.714
19	OT_469	VOL	VOLP0006	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2DE808392	18/08/2016	10	300	14/06/2017	5.478	19/06/2017	Correctivo	0.329	1.104	0.521	1.092	1.331	0.645	0.456	5.478
20	OT_470	VOL	VOLP0020	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809717	24/10/2016	8	240	21/06/2017	5.774	26/06/2017	Correctivo	0.302	1.235	0.556	1.095	1.558	0.604	0.424	5.774
21	OT_471	VOL	VOLP0009	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0DE808801	28/12/2016	6	180	26/06/2017	5.224	01/07/2017	Correctivo	0.266	1.124	0.581	1.165	1.52	0.292	0.276	5.224
22	OT_472	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	01/12/2016	7	210	29/06/2017	5.747	04/07/2017	Correctivo	0.268	1.129	0.511	1.196	1.541	0.808	0.294	5.747
23	OT_473	VOL	VOLP0005	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3DE808788	01/02/2017	5	150	01/07/2017	5.519	06/07/2017	Correctivo	0.275	1.071	0.571	1.222	1.28	0.648	0.452	5.519
24	OT_474	VOL	VOLP0007	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809248	03/12/2016	7	210	01/07/2017	5.037	06/07/2017	Correctivo	0.273	0.994	0.512	1.15	1.494	0.316	0.298	5.037
25	OT_475	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2EE809450	07/04/2017	3	90	06/07/2017	5.692	12/07/2017	Correctivo	0.364	1.059	0.551	1.179	1.491	0.679	0.369	5.692
26	OT_476	EXC	EXCP0004	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10851	10/11/2016	8	240	08/07/2017	5.676	13/07/2017	Preventivo	0.269	1.202	0.546	1.159	1.431	0.675	0.394	5.676
27	OT_477	VOL	VOLP0021	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7EE809383	28/07/2016	12	360	23/07/2017	5.539	28/07/2017	Preventivo	0.263	1.21	0.597	1.092	1.319	0.661	0.397	5.539
28	OT_478	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40023	10/04/2017	4	120	08/08/2017	5.587	14/08/2017	Correctivo	0.296	1.115	0.582	1.149	1.421	0.554	0.47	5.587
29	OT_479	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81424	10/02/2017	6	180	09/08/2017	5.44	14/08/2017	Preventivo	0.259	1.19	0.621	1.237	1.311	0.506	0.316	5.44
30	OT_480	EXC	EXCP0005	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10853	17/08/2016	12	360	12/08/2017	5.312	17/08/2017	Correctivo	0.27	1.134	0.592	1.082	1.548	0.428	0.258	5.312
31	OT_481	VOL	VOLP0022	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D9EE809090	23/04/2017	4	120	21/08/2017	5.793	26/08/2017	Correctivo	0.361	1.068	0.618	1.182	1.279	0.82	0.465	5.793
32	OT_482	RET	RETP0002	RETROEXCAVADORA	JCB	3C	2013	JCB3C4TCC02111509	24/02/2017	6	180	23/08/2017	5.626	28/08/2017	Preventivo	0.293	1.181	0.559	1.236	1.331	0.625	0.401	5.626
33	OT_483	MOT	MOTP0003	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55483	29/10/2016	10	300	25/08/2017	5.443	30/08/2017	Correctivo	0.291	1.042	0.625	1.234	1.415	0.541	0.295	5.443
34	OT_484	VOL	VOLP0001	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7DE808782	28/02/2017	6	180	27/08/2017	5.208	01/09/2017	Correctivo	0.3	0.993	0.539	1.172	1.433	0.38	0.391	5.208
35	OT_485	VOL	VOLP0019	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809377	30/11/2016	9	270	27/08/2017	5.792	01/09/2017	Correctivo	0.301	1.141	0.549	1.233	1.462	0.646	0.46	5.792
36	OT_486	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81614	04/02/2017	7	210	02/09/2017	5.79	08/09/2017	Correctivo	0.341	1.188	0.605	1.239	1.444	0.566	0.407	5.79
37	OT_487	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81415	12/05/2017	4	120	09/09/2017	5.5	15/09/2017	Correctivo	0.28	1.022	0.564	1.082	1.359	0.835	0.358	5.5
38	OT_488	CFR	CFRP0001	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91086	15/01/2017	8	240	12/09/2017	5.425	17/09/2017	Preventivo	0.312	1.176	0.584	1.246	1.235	0.441	0.431	5.425
39	OT_489	TOR	TORP0007	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81403	19/11/2016	10	300	15/09/2017	5.739	20/09/2017	Preventivo	0.319	1.156	0.573	1.092	1.554	0.788	0.257	5.739
40	OT_490	EXC	EXCP0006	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10855	18/04/2017	5	150	15/09/2017	5.612	20/09/2017	Preventivo	0.292	1.239	0.556	1.235	1.436	0.451	0.403	5.612
41	OT_491	CFR	CFRP0002	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91087	20/09/2016	12	360	15/09/2017	5.463	20/09/2017	Preventivo	0.363	1.223	0.557	1.174	1.491	0.335	0.32	5.463
42	OT_492	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81644	19/03/2017	6	180	15/09/2017	5.606	20/09/2017	Preventivo	0.262	1.231	0.571	1.223	1.551	0.356	0.412	5.606
43	OT_493	MOT	MOTP0002	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55359	26/01/2017	8	240	23/09/2017	5.371	28/09/2017	Correctivo	0.296	1.124	0.51	1.096	1.32	0.655	0.37	5.371
44	OT_494	EXC	EXCP0001	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10804	03/11/2016	11	330	29/09/2017	5.507	04/10/2017	Correctivo	0.336	1.129	0.591	1.095	1.555	0.532	0.269	5.507
45	OT_495	VOL	VOLP0004	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0DE808787	02/04/2017	6	180	29/09/2017	5.623	04/10/2017	Correctivo	0.297	1.115	0.561	1.243	1.221	0.752	0.434	5.623
46	OT_496	TOR	TORP0002	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81608	07/07/2017	3	90	05/10/2017	5.822	11/10/2017	Preventivo	0.372	1.151	0.617	1.244	1.324	0.725	0.389	5.822
47	OT_497	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3EE809449	10/05/2017	5	150	07/10/2017	5.247	13/10/2017	Correctivo	0.288	1.167	0.531	1.107	1.393	0.384	0.377	5.247
48	OT_498	VOL	VOLP0002	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809009	13/10/2016	12	360	08/10/2017	5.197	13/10/2017	Correctivo	0.294	1.052	0.565	1.086	1.437	0.328	0.435	5.197
49	OT_499	TOR	TORP0005	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40038	13/12/2016	10	300	09/10/2017	5.45	14/10/2017	Correctivo	0.289	0.996	0.55	1.114	1.517	0.547	0.437	5.45

50	OT_500	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	11/07/2017	3	90	09/10/2017	5.693	15/10/2017	Preventivo	0.343	1.062	0.601	1.178	1.479	0.626	0.404	5.693
51	OT_501	VOL	VOLP0007	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809248	13/07/2017	3	90	11/10/2017	5.627	16/10/2017	Preventivo	0.328	1.162	0.566	1.164	1.39	0.581	0.436	5.627
52	OT_502	TOR	TORP0006	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81367	14/06/2017	4	120	12/10/2017	5.69	17/10/2017	Preventivo	0.308	1.047	0.509	1.222	1.578	0.677	0.349	5.69
53	OT_503	TOR	TORP0010	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81368	14/06/2017	4	120	12/10/2017	5.54	17/10/2017	Preventivo	0.282	1.055	0.537	1.237	1.308	0.865	0.256	5.54
54	OT_504	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	16/06/2017	4	120	14/10/2017	5.325	19/10/2017	Preventivo	0.281	1.089	0.558	1.24	1.366	0.458	0.333	5.325
55	OT_505	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809451	20/05/2017	5	150	17/10/2017	5.8	23/10/2017	Correctivo	0.284	1.001	0.617	1.206	1.419	0.846	0.427	5.8
56	OT_506	VOL	VOLP0003	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808708	26/11/2016	11	330	22/10/2017	5.673	27/10/2017	Preventivo	0.298	1.224	0.526	1.088	1.256	0.784	0.497	5.673
57	OT_507	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	28/04/2017	6	180	25/10/2017	5.595	31/10/2017	Preventivo	0.279	1.19	0.623	1.188	1.408	0.569	0.338	5.595
58	OT_508	VOL	VOLP0012	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D1EE809308	23/04/2017	7	210	19/11/2017	5.797	24/11/2017	Correctivo	0.299	1.248	0.566	1.184	1.473	0.712	0.315	5.797
59	OT_509	VOL	VOLP0017	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2EE809450	23/07/2017	4	120	20/11/2017	5.929	26/11/2017	Preventivo	0.359	1.239	0.558	1.213	1.247	0.873	0.44	5.929
60	OT_510	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81424	24/08/2017	3	90	22/11/2017	5.442	27/11/2017	Preventivo	0.367	1.009	0.564	1.217	1.228	0.661	0.396	5.442
61	OT_511	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	03/06/2017	6	180	30/11/2017	5.32	06/12/2017	Preventivo	0.329	1.197	0.531	1.245	1.465	0.286	0.267	5.32
62	OT_512	VOL	VOLP0006	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D2DE808392	07/07/2017	5	150	04/12/2017	5.436	10/12/2017	Preventivo	0.262	1.009	0.56	1.23	1.361	0.649	0.365	5.436
63	OT_513	VOL	VOLP0016	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D8EE809716	16/05/2017	7	210	12/12/2017	5.34	18/12/2017	Preventivo	0.347	1.069	0.562	1.091	1.403	0.52	0.348	5.34
64	OT_514	VOL	VOLP0001	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7DE808782	14/09/2017	3	90	13/12/2017	5.608	19/12/2017	Correctivo	0.361	1.06	0.576	1.154	1.553	0.445	0.459	5.608
65	OT_515	VOL	VOLP0022	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D9EE809090	14/09/2017	3	90	13/12/2017	5.813	19/12/2017	Correctivo	0.259	1.21	0.593	1.225	1.574	0.5	0.452	5.813
66	OT_516	CFR	CFRP0001	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91086	24/09/2017	3	90	23/12/2017	5.646	29/12/2017	Correctivo	0.283	1.216	0.595	1.215	1.373	0.572	0.392	5.646
67	OT_517	EXC	EXCP0005	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10853	28/08/2017	4	120	26/12/2017	5.675	01/01/2018	Preventivo	0.31	1.207	0.535	1.107	1.535	0.488	0.493	5.675
68	OT_518	CFR	CFRP0005	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91162	05/06/2017	7	210	01/01/2018	5.892	07/01/2018	Preventivo	0.271	1.25	0.55	1.09	1.465	0.804	0.462	5.892
69	OT_519	RET	RETP0002	RETROEXCAVADORA	JCB	3C	2013	JCB3C4TC02111509	05/09/2017	4	120	03/01/2018	5.562	09/01/2018	Preventivo	0.294	1.172	0.522	1.161	1.511	0.503	0.399	5.562
70	OT_520	VOL	VOLP0009	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02DXDE808801	07/07/2017	6	180	03/01/2018	5.768	09/01/2018	Preventivo	0.358	1.092	0.519	1.231	1.344	0.752	0.472	5.768
71	OT_521	VOL	VOLP0005	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3DE808788	10/07/2017	6	180	06/01/2018	5.756	12/01/2018	Correctivo	0.319	1.067	0.619	1.176	1.306	0.772	0.497	5.756
72	OT_522	EXC	EXCP0003	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10825	16/05/2017	8	240	11/01/2018	5.773	16/01/2018	Preventivo	0.341	0.991	0.601	1.205	1.556	0.678	0.401	5.773
73	OT_523	VOL	VOLP0015	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809446	20/06/2017	7	210	16/01/2018	5.523	21/01/2018	Correctivo	0.305	1.124	0.518	1.081	1.531	0.652	0.312	5.523
74	OT_524	TOR	TORP0001	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81614	21/09/2017	4	120	19/01/2018	5.233	24/01/2018	Preventivo	0.375	1.011	0.561	1.102	1.275	0.474	0.435	5.233
75	OT_525	EXC	EXCP0002	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10805	24/10/2017	3	90	22/01/2018	5.406	27/01/2018	Preventivo	0.282	1.13	0.609	1.112	1.307	0.515	0.451	5.406
76	OT_526	TOR	TORP0005	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40038	24/10/2017	3	90	22/01/2018	5.755	28/01/2018	Preventivo	0.37	1.205	0.529	1.218	1.387	0.758	0.288	5.755
77	OT_527	VOL	VOLP0010	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D3EE809449	24/10/2017	3	90	22/01/2018	5.064	27/01/2018	Preventivo	0.297	0.993	0.532	1.142	1.448	0.299	0.353	5.064
78	OT_528	TOR	TORP0007	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81403	01/10/2017	4	120	29/01/2018	5.702	04/02/2018	Correctivo	0.346	1.002	0.555	1.224	1.303	0.869	0.403	5.702
79	OT_529	VOL	VOLP0020	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809717	04/07/2017	7	210	30/01/2018	5.561	05/02/2018	Correctivo	0.356	1.038	0.589	1.21	1.318	0.698	0.352	5.561
80	OT_530	VOL	VOLP0002	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D0EE809009	01/11/2017	3	90	30/01/2018	5.541	05/02/2018	Preventivo	0.304	1.063	0.51	1.233	1.278	0.787	0.366	5.541
81	OT_531	MOT	MOTP0003	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55483	05/09/2017	5	150	02/02/2018	5.488	07/02/2018	Preventivo	0.287	1.018	0.578	1.139	1.311	0.831	0.324	5.488
82	OT_532	VOL	VOLP0011	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809715	10/03/2017	11	330	03/02/2018	5.677	08/02/2018	Preventivo	0.363	1.17	0.561	1.235	1.466	0.577	0.305	5.677
83	OT_533	TOR	TORP0004	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	40023	21/08/2017	6	180	17/02/2018	5.259	23/02/2018	Preventivo	0.306	1.047	0.61	1.143	1.235	0.493	0.425	5.259
84	OT_534	TOR	TORP0009	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81415	22/09/2017	5	150	19/02/2018	5.37	24/02/2018	Preventivo	0.357	1.02	0.6	1.13	1.488	0.278	0.497	5.37
85	OT_535	EXC	EXCP0004	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10851	26/07/2017	7	210	21/02/2018	5.194	27/02/2018	Correctivo	0.329	0.997	0.516	1.188	1.356	0.351	0.457	5.194
86	OT_536	VOL	VOLP0013	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809309	01/11/2017	4	120	01/03/2018	5.385	06/03/2018	Correctivo	0.297	1.142	0.512	1.139	1.544	0.358	0.393	5.385
87	OT_537	EXC	EXCP0006	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10855	02/10/2017	5	150	01/03/2018	5.794	07/03/2018	Correctivo	0.375	1.062	0.589	1.239	1.429	0.717	0.383	5.794
88	OT_538	VOL	VOLP0021	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D7EE809383	10/08/2017	7	210	08/03/2018	5.785	14/03/2018	Correctivo	0.281	1.083	0.619	1.235	1.561	0.726	0.28	5.785
89	OT_539	MOT	MOTP0002	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55359	10/10/2017	5	150	09/03/2018	5.246	14/03/2018	Preventivo	0.314	1.148	0.576	1.087	1.297	0.468	0.356	5.246
90	OT_540	VOL	VOLP0008	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4DE808797	12/12/2017	3	90	12/03/2018	5.268	17/03/2018	Correctivo	0.374	1.249	0.561	1.132	1.244	0.302	0.406	5.268
91	OT_541	MOT	MOTP0001	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2013	55353	12/11/2017	4	120	12/03/2018	5.602	18/03/2018	Preventivo	0.3	1.004	0.596	1.172	1.408	0.705	0.417	5.602
92	OT_542	TOR	TORP0003	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81644	23/09/2017	6	180	22/03/2018	5.21	28/03/2018	Preventivo	0.326	1.174	0.525	1.15	1.354	0.302	0.379	5.21
93	OT_543	TOR	TORP0006	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81367	28/10/2017	5	150	27/03/2018	5.108	01/04/2018	Preventivo	0.278	1.031	0.528	1.098	1.392	0.483	0.298	5.108
94	OT_544	CFR	CFRP0002	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA470-6	2013	91087	30/09/2017	6	180	29/03/2018	5.631	04/04/2018	Preventivo	0.263	1.05	0.511	1.142	1.407	0.819	0.439	5.631
95	OT_545	TOR	TORP0008	TRACTOR DE ORUGAS	KOMATSU	D65EX-16	2013	81424	02/12/2017	4	120	01/04/2018	5.729	07/04/2018	Correctivo	0.359	1.14	0.607	1.225	1.437	0.659	0.302	5.729
96	OT_546	VOL	VOLP0018	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D5EE809451	05/11/2017	5	150	04/04/2018	5.665	10/04/2018	Correctivo	0.375	1.222	0.573	1.089	1.358	0.706	0.342	5.665
97	OT_547	EXC	EXCP0001	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	2013	A10804	10/10/2017	6	180	08/04/2018	5.683	14/04/2018	Correctivo	0.349	1.219	0.591	1.115	1.498	0.564	0.347	5.683
98	OT_548	RET	RETP0001	RETROEXCAVADORA	JCB	3C	2013	JCB3C4TCV02110935	15/04/2017	12	360	10/04/2018	5.611	15/04/2018	Preventivo	0.366	1.084	0.54	1.165	1.306	0.873	0.277	5.611
99	OT_549	VOL	VOLP0019	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6x4 R	2013	93KJS02D4EE809377	16/09/2017	7	210	14/04/2018	5.472	19/04/2018	Preventivo	0.352	1.073	0.535	1.152	1.348	0.75	0.262	5.472
100</																							

Anexo 3: Los valores para obtener el índice COK

U.S. DEPARTMENT OF THE TREASURY

[SECRETARY MNUCHIN](#)
[ABOUT TREASURY](#)
[POLICY ISSUES](#)
[DATA](#)
[SERVICES](#)
[NEWS](#)

[Consumer Policy](#)
[Economic Policy](#)
[Financial Markets, Financial Institutions, and Fiscal Service](#)
[Financial Sanctions](#)
[International](#)
[Small Business Programs](#)
[Tax Policy](#)
[Terrorism and Illicit Finance](#)
[Data and Charts Center](#)

[Agency MBS Purchase Program](#)
[Interest Rate Statistics](#)
[Investor Class Auction Allotments](#)
[Monitoring the Economy](#)
[Quarterly Refunding](#)
[Recovery Act](#)
[Treasury International Capital System \(TIC\)](#)
[U.S. International Reserve Position](#)
[TARP Program Results](#)
[TARP Reports](#)
[TARP Tracker](#)

[FAQs](#)

Resource Center

Home » Resource Center » Data and Charts Center » Interest Rate Statistics » TextView

Daily Treasury Yield Curve Rates

[Get updates to this content.](#)

XML These data are also available in XML format by clicking on the XML icon.

XSD The schema for the XML is available in XSD format by clicking on the XSD icon.

If you are having trouble viewing the above XML in your browser, click [here](#).

To access interest rate data in the legacy XML format and the corresponding XSD schema, click [here](#).

Select type of Interest Rate Data

Daily Treasury Yield Curve Rates
Go

Select Time Period

Current Month
Go

Date	1 Mo	3 Mo	6 Mo	1 Yr	2 Yr	3 Yr	5 Yr	7 Yr	10 Yr	20 Yr	30 Yr
08/01/18	1.93	2.03	2.22	2.45	2.67	2.78	2.87	2.98	3.00	3.07	3.13
08/02/18	1.89	2.02	2.22	2.45	2.66	2.76	2.85	2.93	2.98	3.06	3.12
08/03/18	1.90	2.01	2.23	2.43	2.63	2.74	2.82	2.91	2.95	3.03	3.09
08/06/18	1.92	2.05	2.23	2.44	2.64	2.73	2.80	2.89	2.94	3.02	3.08
08/07/18	1.96	2.06	2.23	2.45	2.68	2.76	2.84	2.92	2.98	3.06	3.12
08/08/18	1.93	2.06	2.24	2.44	2.68	2.77	2.83	2.92	2.96	3.05	3.12
08/09/18	1.91	2.06	2.25	2.44	2.64	2.74	2.80	2.89	2.93	3.01	3.08
08/10/18	1.92	2.05	2.23	2.42	2.61	2.68	2.75	2.82	2.87	2.96	3.03
08/13/18	1.93	2.06	2.22	2.42	2.61	2.68	2.75	2.82	2.88	2.97	3.05
08/14/18	1.96	2.08	2.25	2.44	2.63	2.71	2.77	2.84	2.89	2.98	3.06
08/15/18	1.96	2.07	2.23	2.45	2.61	2.68	2.73	2.81	2.86	2.95	3.03
08/16/18	1.96	2.07	2.24	2.45	2.63	2.70	2.75	2.82	2.87	2.95	3.03
08/17/18	1.95	2.05	2.24	2.44	2.61	2.68	2.75	2.82	2.87	2.95	3.03