

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

Incrementar la disponibilidad de las grúas portacontenedores de un patio de almacenamiento y reparación de contenedores en Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieras Industriales

Presentado por:

Rebeca Sofía Ramos Rodríguez

María Elena Villavicencio García

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A Dios, a quien todas mis victorias pertenecen.

A mis padres Antuco y Lorena, a mis hermanas Lorena, Viancca, Raquel y Antonella y a mi esposo Fernando, quienes han sido mi refugio, motivación y fuente de apoyo incondicional.

A mi abuelita Pepita, a mi ñaña Ellin y a mi ñaña Ketty, a quienes nunca les ha faltado una sonrisa, un abrazo, un beso ni una oración para mí.

A mis amigas, quienes me han proporcionado gratos momentos de pláticas y risas, haciendo llevadero el camino recorrido.

Toda mi gratitud y amor por siempre.

Rebeca Sofía Ramos Rodríguez

DEDICATORIA

A mis padres Miguel Villavicencio y María Elena García, quienes han sido mi motivación durante mi carrera universitaria, porque debido a su esfuerzo y apoyo incondicional he podido culminar con éxito esta etapa.

A mi abuela Amalin, mi segunda madre, por sus enseñanzas y cuidado. A mi abuelo Guido por su amor y comprensión.

A mi hermano, José Miguel, a mis tías María Lorena y María Eugenia y a mis primos por estar conmigo siempre y ser mis confidentes.

A Dios, quien es mi guía en todos mis caminos.

Y finalmente, a mis amigos quienes han confiado en mí y han alegrado mis días.

Con mi más sincero amor y respeto.

María Elena Villavicencio García

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra tutora María Fernanda López, por su valiosa guía para llevar a cabo este proyecto.

Al Ing. Jorge Montalván, por la apertura recibida en la empresa donde se realizó el proyecto y todo el personal de la empresa que nos dio soporte, especialmente al Ing. Marco Guachún por su acompañamiento durante todo el proceso, así como al Ing. Oswaldo Carrión, Ing. César Viera, Ing. Carlos Puig e Ing. Lorena Gallo.

Un agradecimiento especial para Mauricio Leiton por transmitirnos sus conocimientos de programación necesarios para la implementación de mejoras.

A todos nuestros familiares y amigos que contribuyeron de manera indirecta a la realización de este proyecto.

Rebeca Sofía Ramos Rodríguez
María Elena Villavicencio García

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Rebeca Sofía Ramos Rodríguez* y *María Elena Villavicencio García* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Rebeca Sofía Ramos
Rodríguez

Autora 1



María Elena Villavicencio
García

Autora 2

EVALUADORES



Sofía López I., M.Sc.

PROFESORA DE LA MATERIA



María Fernanda López S., M.Sc.

PROFESORA TUTORA

RESUMEN

El presente proyecto realizado en una empresa encargada del almacenamiento y reparación de contenedores tiene como objetivo incrementar la disponibilidad de las grúas portacontenedores identificando las pérdidas que afectan a esta variable y encontrando la forma de disminuirlas o eliminarlas, puesto que, al ser una empresa que manipula carga pesada, la operatividad de las grúas es de vital importancia.

Para su desarrollo se utilizó la metodología DMAIC que permitió la identificación del problema, el cual estaba enfocado en las dos grúas reachstacker, se encontró que la disponibilidad de la grúa Fantuzzi se veía afectada por el tiempo de reparación de daños en el sistema de frenos y de la grúa Terex en el sistema de transmisión, mientras que el motor afectaba a ambas. Luego del análisis de causas, se propusieron soluciones para mejorar el mantenimiento preventivo y así atacar la variable respuesta. Se estableció un procedimiento para la correcta realización del checklist diario de la grúa, un programa de mantenimiento preventivo, además de un sistema de inventarios de partes recurrentes de los 3 sistemas críticos en análisis, de esta forma, las partes necesarias para realizar a tiempo el mantenimiento se hallarán en stock.

El resultado luego de realizar el prototipado de las soluciones, fue un aumento de la disponibilidad del 25% en la grúa Fantuzzi y 35% en la grúa Terex.

Concluyendo, se alcanza el objetivo, representando para la compañía un incremento de 7.6 horas diarias de operación entre ambas grúas, es decir un beneficio anual estimando de \$21.000.

Palabras Clave: Disponibilidad, Grúas portacontenedores, Reachstacker, Variable respuesta, Sistema de inventario, mantenimiento.

ABSTRACT

The present project developed in a company responsible for the storage and repair of containers aimed to increase the availability of container cranes by identifying the breakdowns that affected the variable and finding a way to reduce or eliminate them, since, being a company that handles heavy load, crane operation is vitally important.

For its development DMAIC methodology was used, the problem was focused on the two reachstacker cranes, and it was found that the availability of the Fantuzzi crane was affected by the breakdowns repair time of the brake system and in the Terex crane affected by the transmission system, while the engine affected both cranes. After the cause analysis, solutions were proposed to improve preventive maintenance and thus attack the response variable. It was established a procedure for the correct completion of the crane's daily checklist, a preventive maintenance program, and a recurring parts inventory system of the 3 critical systems under analysis, in this way, the parts necessary to perform on time maintenance will be in stock.

The result after prototyping the solutions was an increase in availability of 25% in the Fantuzzi crane and 35% in the Terex crane.

Concluding, the objective is reached, representing for the company an increase of 7.6 daily hours of operation between both cranes, an annual estimated profit of \$ 21,000.

Keywords: Availability, Container cranes, Reachstacker, Variable response, Inventory system, maintenance.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1.Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Definir	2
1.2 Variable respuesta	4
1.3 Justificación del problema	4
1.3.1 4W + 2H	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Marco teórico	6
1.5.1 Grúas.....	6
1.5.2 OEE.....	9
1.5.3 Mantenimiento	11
1.5.4 Mantenimiento correctivo	11
1.5.5 Media del tiempo entre falla	11
1.5.6 Media del tiempo de reparación	11
1.5.7 Cantidad económica de pedido (EOQ)	11

1.5.8	Política de reabastecimiento	12
1.5.9	Política de revisión continua	12
1.5.10	Inventario de seguridad	12
1.5.11	Punto de reorden	13
CAPÍTULO 2		14
2. Metodología.....		14
2.1	Medición.....	14
2.1.1	Plan de recolección de datos	16
2.1.2	Confiabilidad de los datos	17
2.2	Análisis.....	19
2.2.1	Diagrama de causa-efecto (Ishikawa)	19
2.2.2	Priorización de causas.....	23
2.2.3	Matriz Impacto - Control.....	26
2.2.4	Plan de verificación de causas.....	28
2.2.5	Análisis de causa raíz	32
2.3	Propuestas de mejora	38
2.3.1	Priorización de soluciones	40
2.3.2	Plan de implementación.....	41
2.4	Implementación	42
2.4.1	Elaboración de procedimiento/instructivo del checklist para mejorar el llenado de las tarjetas rojas TPM	42
2.4.2	Rediseño de un programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas	43
2.4.3	Análisis de adquisición de una grúa nueva	43
2.4.4	Gestión de inventario de piezas de repuesto valorando la criticidad de cada una.....	44
2.5	Plan de control	45
CAPÍTULO 3		47

3. Resultados y Análisis	47
3.1 Simulación.....	47
3.2 Análisis de costo de reemplazo de grúa FANTUZZI.....	49
CAPÍTULO 4	53
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	53
4.1 Conclusiones.....	53
4.2 Recomendaciones.....	55
BIBLIOGRAFÍA	56
APÉNDICES	57

ABREVIATURAS

DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
CTQ	Critical to quality
VOC	Voice of customer
VSM	Value stream Mapping
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
EIR	Equipment Interchange & Condition Report
LCL	Less than container load
FCL	Full container load
TEUS	Twenty-foot Equivalent unit
M&R	Mantenimiento y Reparación
4W + 2H	What, Where, When, Who, How much, How
TPM	Total Productive Maintenance (Mantenimiento productivo total)
MTBF	Mean Time To Breakdown Frequency (Media del tiempo entre falla)
MTTR	Mean Time To Repair (Media del tiempo de reparación)
SKU	Stock Keeping Unit
EOQ	Economic Order Quantity (Cantidad económica de pedido)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficacia General del equipo)
VAN	Valor actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólares
m ²	Metros cuadrados
#	Número

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Resultados de la selección de las necesidades más importantes de la empresa.....	3
Figura 1.2 Disponibilidad diaria de las grúas	5
Figura 1.3 Grúa Reachstacker. Obtenido del manual de mantenimiento y reparación TEREX.....	7
Figura 1.4 Cálculo del OEE. Obtenido del libro Manufacturing Flexible Packaging (2015)	10
Figura 1.5 OEE. Obtenido del libro Manufacturing Flexible Packaging (2015).....	10
Figura 2.1 Diagrama de Pareto con el porcentaje del tiempo total de paras que representa cada grúa	14
Figura 2.2 Diagrama de Pareto con el porcentaje de fallas en la grúa Fantuzzi	15
Figura 2.3 Diagrama de Pareto con el porcentaje de fallas en la grúa Terex.....	16
Figura 2.4 Formato de muestreo de confiabilidad de información	18
Figura 2.5 Comparación de datos de mantenimiento vs datos recolectados por las líderes de la operatividad de las grúas reachstackers.....	18
Figura 2.6 Diagrama de Ishikawa para fallas en el motor	20
Figura 2.7 Diagrama de Ishikawa para fallas en los frenos.....	21
Figura 2.8 Diagrama de Ishikawa para fallas en la transmisión	22
Figura 2.9 Matriz impacto – control para el motor.....	27
Figura 2.10 Matriz impacto – control para la transmisión.....	27
Figura 2.11 Matriz impacto – control para los frenos	28
Figura 2.12 Manómetro perteneciente al taller mecánico	29
Figura 2.13 Matriz impacto – esfuerzo de propuestas de mejora	40
Figura 2.14 Socialización con operadores de grúa.....	42
Figura 2.15 Programa de mantenimiento preventivo	43
Figura 2.16 Política de inventario para repuestos recurrentes	44
Figura 2.17 Plataforma del sistema de inventario.....	45
Figura 3.1 Simulación de mejoras en el programa FlexSim.....	47
Figura 3.2 Comparación de disponibilidad original vs disponibilidad después de mejoras	48
Figura 3.3 Disponibilidad general con mejoras implementadas	49
Figura 3.4 Recuperación de la inversión	52

Figura 3.5 Disponibilidad general con mejoras implementadas y compra de grúa nueva52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 CTQs con su variable de salida	4
Tabla 2.1 Plan de recolección de datos	17
Tabla 2.2 Ponderación para priorización de causas	23
Tabla 2.3 Priorización para el motor	24
Tabla 2.4 Priorización para la transmisión	25
Tabla 2.5 Priorización para los frenos	26
Tabla 2.6 Plan de verificación de causas	28
Tabla 2.7 Ejemplo de los checklist y el tratamiento dado	30
Tabla 2.8 : Lead time de repuestos comerciales locales	31
Tabla 2.9 : Lead time de repuestos locales no comerciales	31
Tabla 2.10 : Ejemplo de importación de repuesto.....	32
Tabla 2.11: Análisis de causa raíz de extenso tiempo de compra de repuestos locales	33
Tabla 2.12: Análisis de causa raíz de proceso de compras lento por medio de importación	34
Tabla 2.13: Análisis de causa raíz no se toman en cuenta los reportes del checklist por frenos	36
Tabla 2.14: Análisis de causa raíz no se toman en cuenta los reportes del checklist por sistema de transmisión.....	37
Tabla 2.15: Análisis de causa raíz, no se cuenta con equipos de diagnóstico	38
Tabla 2.16 Brainstorming de soluciones a proponer.....	39
Tabla 2.17 Plan de implementación	41
Tabla 2.18 : plan de control de soluciones propuestas	46
Tabla 3.1 Información para el análisis de costos	48
Tabla 3.2 Desglose de ingresos y costos para obtener la ganancia anual.....	49
Tabla 3.3 Promedio de horas de trabajo mensuales de las grúas	50
Tabla 3.4 Información general de costos e ingresos	50
Tabla 3.5 Flujo de caja a 5 años	51

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El inicio de la contenedorización surgió en Estados Unidos a mediados del siglo XX gracias a Malcom McLean, propietario de una compañía de transporte por carretera, quien procurando que las operaciones de transbordo de mercancías sean más eficientes, encontró como solución separar las cajas de la estructura del chasis de los camiones. A la edad de 40 años, McLean pidió un préstamo al banco y en 1956 consiguió el primer barco portacontenedores, llamado Ideal X, que navegó desde Port Newark a Europa con 58 contenedores marítimos a bordo, desde esa fecha, el crecimiento de los volúmenes de carga ha sido de tal magnitud que actualmente se considera a los contenedores como agentes principales del sistema logístico tanto interno como internacional terrestre y marítimo. (Levinson, 2008)

Un depósito de contenedores básicamente es un espacio destinado al almacenamiento de contenedores y en algunos casos también realizan mantenimiento y reparación de estos, donde los principales clientes son líneas navieras, importadores y exportadores. Los depósitos son una parte muy importante de la logística de contenedores, ya que permiten ahorrar tiempo, dinero y espacio, así pues, no hace falta que las empresas tengan su propia zona para almacenar sus contenedores; adicionalmente, se ahorra tiempo de traslado al dejar localizados los contenedores más cerca de las empresas que deben recogerlos.

Este proyecto consiste en aumentar la disponibilidad de las grúas portacontenedores de un depósito de contenedores en Guayaquil, el depósito en análisis consta de un área total de 70000 m², con capacidad de almacenamiento de 8000 TEUS.

¿Por qué es tan importante la disponibilidad de las grúas en el depósito de contenedores? En la actualidad la productividad desempeña un papel clave para mantenerse en competencia, un componente crítico es la disponibilidad de sus equipos, las grúas portacontenedores, permiten manipular y trasladar los contenedores, sin ellas no sería posible realizar las actividades y operaciones del depósito, de hecho, la planificación de las operaciones gira en torno a su capacidad.

Para poder incrementar la disponibilidad de las grúas es necesario identificar los componentes que afectan a la disponibilidad y elegir aquellos que tengan mayor impacto

para proponer soluciones factibles. Para llevar a cabo este proyecto se ha utilizado la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, implementar y controlar).

1.1 Descripción del problema

1.1.1 Definir

El proyecto fue realizado en un patio de contenedores ubicado en la vía Perimetral de la ciudad de Guayaquil – Ecuador, la empresa está encargada del almacenaje y reparación de alta calidad a contenedores secos y refrigerados, prestando sus servicios a 4 líneas navieras internacionales y a dos compañías internacionales de arrendamiento de contenedores. Su capacidad es de 18000 TEUS y tiene un área de 70000 m².

Para el manipuleo de contenedores, la empresa posee 4 grúas (dos de tipo reachstackers y dos side lifter), sin las cuales la empresa no podría operar.

1.1.1.1 Alcance

El SIPOC adjunto en el apéndice A y B, muestra las áreas seleccionadas donde va a ser tratado el problema, de esta forma, se tiene todos los procesos donde las grúas se encuentran operando como parte del análisis, estos son:

- Recepción de contenedores.
- Inspección de contenedores.
- Almacenamiento de contenedores.
- Mantenimiento y reparación de contenedores.
- Entrega de contenedores.

1.1.1.2 Voice of customer (VOC)

Junto con el gerente de operaciones, personal del departamento de mejora continua, operadores de grúas, Jefe de mantenimiento, personal de mantenimiento y reparación, jefe de operaciones, personal operativo e inspectores de patio, se detectaron falencias en los procesos operativos de la empresa que involucran a las grúas, de esta forma se obtuvo una lluvia de ideas acerca de los posibles puntos de enfoque del proyecto.

El siguiente listado muestra la lluvia de ideas llevada a cabo :

- La mayor parte de errores por inspección se dan durante la noche.
- Existen reprocesos por errores.

- Ocurren paradas frecuentes por fallas en las grúas.
- El tiempo de rehabilitación de las grúas es muy alto.
- La adquisición de repuestos es lenta.
- Hay muchos movimientos innecesarios en el proceso.
- El trasteo no agrega valor al proceso.
- Los operarios de grúas no identifican las señales de alerta de fallas de las grúas.
- Falta de comunicación entre los operarios, el mecánico y el coordinador.
- El tiempo de atención aumenta durante las noches.
- Gran diferencia entre el consumo de combustible real al teórico.
- Los operarios no siempre registran las fallas y movimientos.

1.1.1.3 Critical to Quality (CTQ)

Previo a la transformación de la voz del cliente en variables críticas, se realizó el envío de un formulario en línea para que se escogiera aquellas necesidades que se consideraran más importantes, así, cada persona seleccionaba las 4 necesidades que a su criterio eran las más importantes.

Se obtuvieron 7 respuestas, y los resultados se muestran en la figura 1.1

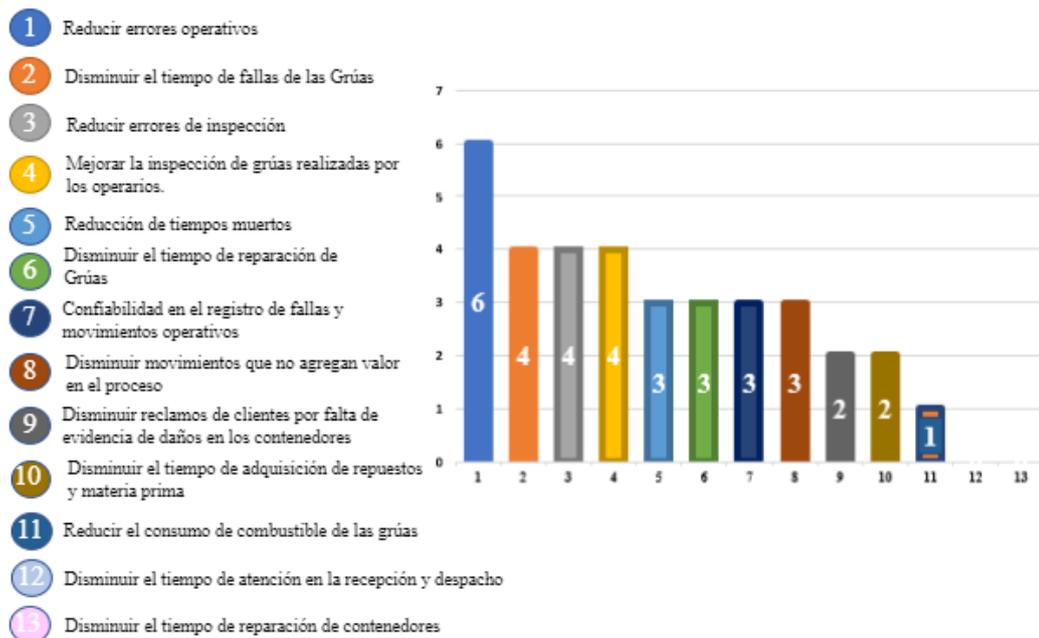


Figura 1.1 Resultados de la selección de las necesidades más importantes de la empresa.

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Por lo tanto, las 4 necesidades más significativas son: Reducir errores operativos, disminuir el tiempo de fallas de las grúas, reducir errores de inspección y mejorar la inspección de grúas por parte de los operarios.

Una vez definidas estas necesidades, se determinó la variable respuesta, asociando un driver para cada CTQ y la forma en que será medida, lo cual se aprecia en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 CTQs con su variable de salida

DRIVER	CTQ	VARIABLE DE SALIDA
Reducir errores/Calidad	Precisión	# de movimientos para corregir un error/total de movimientos
Reducir falla de grúas/Eficiencia	Disponibilidad	Tiempo de operación de la máquina/Tiempo disponible de la máquina para operar
Reducir movimientos/Eficiencia	Rendimiento	Consumo real de diesel-consumo teórico/consumo teórico
Confiabilidad de la información	Confiabilidad	Operadores de grúas capacitados/Total de operadores de grúas

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

1.2 Variable respuesta

La variable respuesta fue definida como: DISPONIBILIDAD, y se la midió por medio de la fórmula:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo de operación de la máquina}}{\text{Tiempo disponible de la máquina para operar}}$$

1.3 Justificación del problema

Datos históricos muestran que la disponibilidad de las grúas que posee la empresa tiene un patrón variable, que se observa en la figura 1.2, teniendo como promedio diario de disponibilidad entre las cuatro grúas 52.9%.

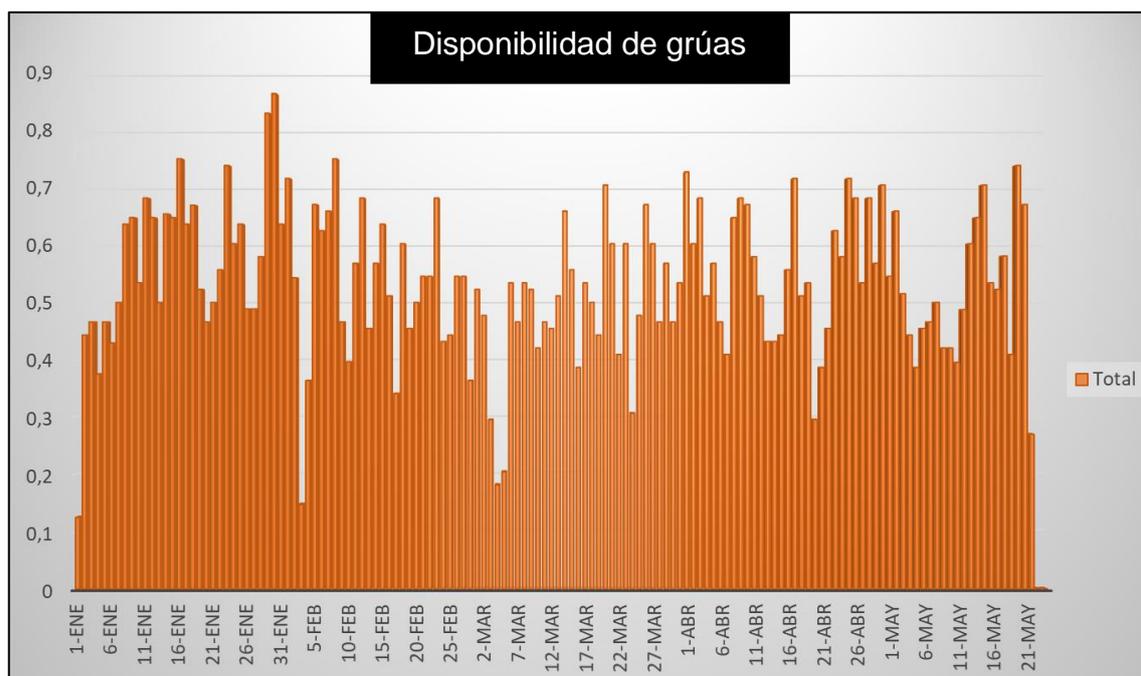


Figura 1.2 Disponibilidad diaria de las grúas

Base de datos empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Dado este porcentaje, la empresa subcontrata una grúa para poder cumplir con su planificación diaria, debido a la poca confiabilidad de máquinas que poseen.

Este proyecto se centrará en proponer mejoras que permitan incrementar la disponibilidad de las grúas propias que operan en el patio de contenedores, tomando en cuenta el alcance, las restricciones de la empresa y la opinión del cliente.

1.3.1 4W + 2H

Para definir de forma concisa el problema, la herramienta a utilizar es “4W + 2H”, de esta forma se tiene que:

“El porcentaje de disponibilidad de las grúas portacontenedores usadas en un patio de contenedores en Guayaquil, durante su jornada de trabajo, ha sido del 52,9% desde enero hasta mayo del año 2019, sin embargo, se espera que este sea del 72.9%.”

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Incrementar en al menos un 20% la disponibilidad actual de las grúas portacontenedores de un depósito de contenedores en Guayaquil, a través del análisis de proceso, datos e implementación de las mejoras.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Utilizar herramientas para conocer las necesidades de los clientes y transformarlas en variable críticas de calidad que permitan identificar el problema de mayor relevancia para la empresa.
2. Realizar un análisis de causas del problema enfocado con los involucrados en el proceso, escoger y verificar las causas potenciales para posteriormente encontrar las causas raíz del problema utilizando la técnica de los 5 por qué.
3. Proponer soluciones factibles que permitan aumentar la disponibilidad de las grúas portacontenedores.
4. Demostrar mediante una simulación los resultados que se obtendrán con la implementación de las propuestas de mejora.
5. Establecer controles que garanticen la sostenibilidad de las mejoras a través del tiempo.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Grúas

Una grúa es una máquina que permite elevar, descender y trasladar distancias cortas cargas muy pesadas, en general, constan de una estructura metálica, un brazo hidráulico móvil y están equipadas con contrapesos, cables y poleas acanaladas que permiten realizar los movimientos. El diseño de las grúas dependerá de la función que esté destinada a realizar.

1.5.1.1 Clasificación y partes de grúa

Para la manipulación de contenedores existen una gran variedad de grúas, su principal clasificación es referente a si son fijas o móviles.

Las grúas fijas permanecen ancladas al suelo o a un soporte anclado en la pared, los principales tipos de grúas fijas son grúas de torre y grúas de pórtico.

Las grúas móviles son las más empleadas, estas grúas poseen una base con ruedas y requieren de mucho mantenimiento y habilidad de manejo, los principales tipos de grúas en esta clasificación son: reachstackers, straddlercarrier, emptyhandlers y grúas Maffi. El tipo de grúas que se analizarán en este documento son las reachstacker, a continuación, se profundiza sobre este tipo de grúas.

1.5.1.2 Reachstacker

También conocida como grúa apiladora, consta de un sistema hidráulico que funciona por medio de la transmisión de fuerzas de un punto a otro a través de un fluido, la mayoría de las grúas de este tipo usan como fluido incompresible el aceite, una bomba hidráulica crea presión para mover unos pistones, un pistón empuja el aceite hacia abajo, transmitiendo toda la fuerza original a otro pistón que es accionando hacia arriba.

Este tipo de grúa transporta rápidamente un contenedor distancias cortas y lo puede apilar entre 4 a 6 alturas.

1. Ruedas traseras (de dirección)
2. Compartimento eléctrico
3. Ruedas delanteras (motrices)
4. Cilindro de elevación
5. Cabina operador
6. Pluma fija
7. Pluma Móvil
8. Cilindro damping
9. Spreader
10. Twistlocks

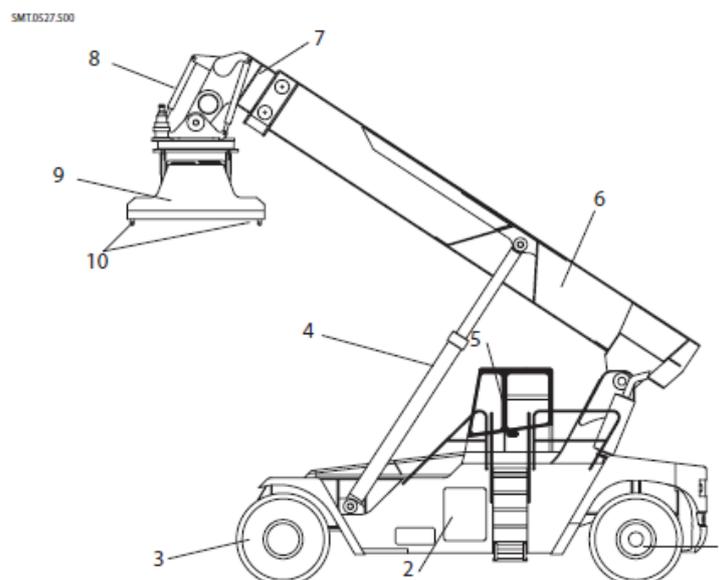


Figura 1.3 Grúa Reachstacker. Obtenido del manual de mantenimiento y reparación TEREX

1. Pluma de elevación
2. Acoplamiento
3. Elementos de cierre
4. Cilindros amortiguadores
5. Cilindros elevadores
6. Eje tractor
7. Eje direccional
8. Contrapeso
9. Cabina del conductor

1.5.1.2.1 Motor

Es el encargado de proporcionar la potencia para la tracción y el sistema hidráulico. Los motores son turbodiesel con inyectores e intercoolers. Se utiliza el mismo ventilador para enfriar el motor y la transmisión, si la temperatura del motor se eleva demasiado o si el nivel de refrigerante o presión del aceite es muy baja, la potencia del motor se reducirá activamente.

1.5.1.2.2 Sistema hidráulico

La pluma de elevación recibe alimentación de aceite por medio de bombas de caudal variable para poder realizar sus funciones. Para disminuir las caídas de presión, se utilizan mangueras hidráulicas anchas que permiten con un mismo volumen tener un índice de flujo más bajo, reduciendo así el calentamiento y la fricción. Para bloquear las funciones de la pluma de elevación se bloquea el flujo de aceite con las válvulas de bloqueo en los cilindros de elevación y extensión.

Para el funcionamiento de los Twistlocks giratorios (sujetadores del contenedor), se necesita que un motor hidráulico por medio de cadenas active esta función.

1.5.1.2.3 Transmisión

su función es transferir la potencia desde el motor a las bombas hidráulicas y al eje motriz. El sistema de transmisión se compone por una caja de cambios y un convertidor de par, estos trabajan en conjunto a través de un sistema de acoplamiento hidráulico.

1.5.1.2.4 Sistema de dirección:

Está conformado por una sola pieza de acero, con el objetivo de disminuir la cantidad de componentes que necesitan mantenimiento y de brindar una resistencia estructural alta.

1.5.1.2.5 Frenos

Los frenos son independientes al sistema hidráulico, tienen su propio enfriador, depósito y filtro de alta presión, para regular el ventilador de enfriamiento, el depósito tiene un transmisor de temperatura.

Para controlar la alimentación de aceite a los frenos se utiliza una válvula lo suficientemente sensible para posibilitar un frenado óptimo y suave al conductor.

1.5.1.2.6 Plumas de elevación

Se encargan de transportar la carga, tiene dos secciones: exterior e interior. No se necesita lubricar las placas de deslizamiento entre las dos secciones.

1.5.1.2.7 Rotador

Se encuentra montado en el interior de la pluma de elevación y permite el giro del contenedor. Está compuesto por un yugo ahorquillado superior y otro inferior juntados por un rodamiento potente, la rotación se logra gracias a dos motores hidráulicos que ponen en marcha una corona dentada. Para evitar que el contenedor se mueva de manera longitudinal consta de dos cilindros anti balanceo.

(TEREX, 2012).

1.5.2 OEE

Es un indicador que permite medir la eficiencia productiva de maquinarias, el cálculo de este indicador se obtiene de la multiplicación de las variables: disponibilidad x rendimiento x calidad (Dunn, 2015).

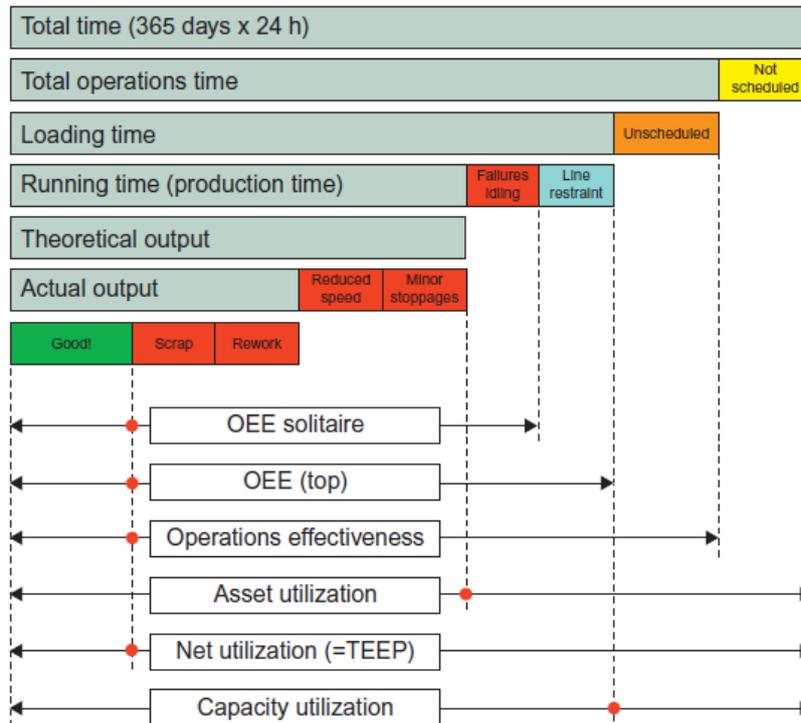


Figura 1.4 Cálculo del OEE. Obtenido del libro Manufacturing Flexible Packaging (2015)

Este proyecto se centra en uno de los componentes del OEE siendo este la disponibilidad.

1.5.2.1 Disponibilidad

Availability	A	Potential production time (480 min)		
	B	Actual production time (420 min)	Availability losses • Breakdowns • Wait/changeover • Line restraint	
Performance	C	Theoretical output (420 min x 10 part/min = 4200 parts)		
	D	Actual output (3360) parts	Quality losses • Minor stoppage • Reduced speed	
Quality	E	Actual output (3360) parts		
	F	Good product (3192) parts	Quality losses • Scrap • Rework	Effectiveness loss

Figura 1.5 OEE. Obtenido del libro Manufacturing Flexible Packaging (2015)

¿Está funcionando la máquina o no? La disponibilidad es la proporción entre el tiempo real de operación y el tiempo que la máquina teóricamente debía estar en operación (el tiempo disponible para operar – paras programadas como mantenimiento preventivo);

algunas pérdidas que afectan a la disponibilidad son las paradas no programadas debido a mantenimientos correctivos por averías, esperas, paradas por cambios y ajustes. (Dunn, 2015).

1.5.3 Mantenimiento

El mantenimiento implica arreglar cualquier tipo de equipo mecánico en caso de que se descomponga o se rompa. También incluye la realización de acciones rutinarias para mantener el equipo en funcionamiento o evitar que surjan problemas con este. (Encyclopedia World Heritage)

1.5.4 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se lo define como el mantenimiento requerido cuando un equipo se ha dañado y se lo realiza para que vuelva a funcionar (Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman, 2000).

Se lo ve con frecuencia, pero sus limitaciones son fáciles de observar, ya que cuando un equipo falla, conlleva a un tiempo indefinido de inactividad en la operación, y esto suele ser en extremo costoso para las empresas. Además del riesgo en la salud, seguridad y medio ambiente relacionados con el mal funcionamiento del equipo (Encyclopedia World Heritage).

1.5.5 Media del tiempo entre falla

Es un indicador de mantenimiento que se lo mide en horas, se lo utiliza para medir el tiempo medio entre fallos y se lo define como:

$$MTBR = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento 1} + \text{tiempo de funcionamiento 2} \dots + \text{tiempo de funcionamiento n}}{N^{\circ} \text{ de paradas} + 1}$$

(Encyclopedia World Heritage)

1.5.6 Media del tiempo de reparación

Es un indicador de mantenimiento que se lo mide en horas, se lo utiliza para medir el tiempo medio entre reparaciones y se lo define como:

$$MTBR = \frac{\text{tiempo de avería1} + \text{Tiempo de avería2} + \text{tiempo de avería n}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$$

(Encyclopedia World Heritage)

1.5.7 Cantidad económica de pedido (EOQ)

Es la tamaño o cantidad óptima de lote que se debe ordenar para minimizar el costo total de la empresa. (Sunil Chopra, Peter Meindl, 2008, págs. 262-270)

$$\sqrt{\frac{2AD}{H}}$$

A: Costo fijo de hacer un pedido.

D: La demanda anual del producto.

H: Costo de mantener inventario.

1.5.8 Política de reabastecimiento

Es una política que permite responder a las preguntas respecto a qué ordenar y cuánto ordenar, existen distintas políticas de reabastecimiento, en este proyecto se utilizará en una de las propuestas una política de revisión continua (r,Q). (Sunil Chopra, Peter Meindl, 2008, págs. 320-350).

1.5.9 Política de revisión continua

La política de revisión continua se caracteriza porque el inventario se supervisa continuamente y el tamaño de un pedido se coloca cuando el inventario llega a un punto de reorden, el tamaño del pedido *Q*, no cambia, mientras que el tiempo entre pedidos puede variar de acuerdo con la variabilidad de la demanda.

1.5.10 Inventario de seguridad

El inventario de seguridad es una cantidad determinada de producto que se mantiene para satisfacer la demanda que excede de la cantidad pronosticada, este inventario permite amortiguar la incertidumbre de la demanda. (Sunil Chopra, Peter Meindl, 2008, págs. 320-350)

Para este proyecto el inventario de seguridad se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$ss = k * \sigma_L$$

σ_L : Desviación estándar del error del pronóstico de la demanda dentro del lead time.

$$\sigma_L = \sigma_d \sqrt{L}$$

σ_d : Es la desviación estándar del error histórico de pronóstico de la demanda.

L: Tiempo promedio de reabastecimiento.

k: Es un factor de seguridad, que dependerá del nivel de servicio que se quiera alcanzar, utilizando la distribución de probabilidad normal si es que la demanda sigue esa distribución.

$$k = F^{-1}(\text{Probabilidad (demanda durante } L \leq \text{ punto de reorden)})$$

1.5.11 Punto de reorden

Es una cantidad establecida de inventario de un producto que determinará o indicará que debe realizarse un pedido cuando el nivel de inventario llegue a ese punto. (Sunil Chopra, Peter Meindl, 2008). El punto de reorden se calcula con la siguiente fórmula:

$$r = \bar{D}_L + SS$$

\bar{D}_L : Demanda pronosticada para el período de reabastecimiento L .

$$\bar{D}_L = d \times L$$

d : Demanda expresada en un determinado período de tiempo.

L : Tiempo de espera promedio de reabastecimiento en la misma unidad de tiempo que la demanda.

SS : Stock de seguridad.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto se ha utilizado la metodología DMAIC, la cual, a partir de un problema identificado utiliza herramientas y técnicas para implementar una solución sostenible que minimice o elimine el problema, logrando así una mejora en la estrategia competitiva de la empresa (Shankar, 2009).

La primera etapa DMAIC, Definición del problema, se encuentra realizada en el capítulo 1 del presente proyecto, por lo que a partir del capítulo 2 se continuará con el desarrollo de la metodología.

2.1 Medición

Previo a la medición de las variables que afectan a la disponibilidad de las grúas, es necesario identificar el enfoque del problema que permita centrar los esfuerzos en aquello que genere mayor impacto, para ello se estratificó el problema bajo los siguientes criterios:

- Por el porcentaje del tiempo total de paras que representa cada grúa.



Figura 2.1 Diagrama de Pareto con el porcentaje del tiempo total de paras que representa cada grúa

Base de datos empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Como se muestra en el diagrama de Pareto de la figura 2.1 que corresponde al porcentaje de tiempo de paras de las grúas, se comenzó enfocando el problema en dos grúas la cuales son: marca TEREX y marca FANTUZZI, que acumulan un 57% del porcentaje de tiempo de fallas en las grúas.

Una vez enfocadas las grúas, el siguiente criterio evaluado fue:

- Clasificación de pérdidas/fallas de las grúas seleccionadas.

Los datos fueron tomados del documento actualizado de enero a mayo del año 2019 proporcionado por el jefe del área de mantenimiento, en el cual se encontraba registrado el tiempo y motivo de para de las grúas.

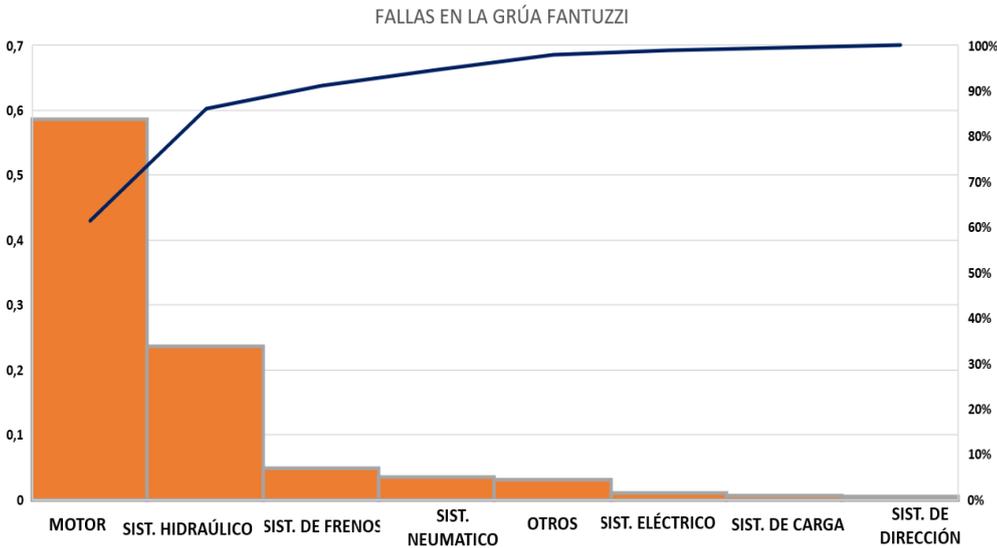


Figura 2.2 Diagrama de Pareto con el porcentaje de fallas en la grúa Fantuzzi
Base de datos empresa en análisis, 2019.
Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

El segundo diagrama de Pareto, que se muestra en la figura 2.2 está enfocado en los tipos de fallas que presenta la grúa FANTUZZI, de este se obtuvo que el 60% de las fallas ocurren por daños en el motor y en el sistema de frenos. Se da a notar que el sistema hidráulico fue eliminado de análisis puesto que, al momento, este se encuentra en un proceso de mejoramiento continuo por parte del área mecánica de la empresa.

De esta forma, el primer problema enfocado es:

" El porcentaje de disponibilidad de la grúa portacontenedores Fantuzzi, perteneciente a un patio de contenedores en Guayaquil, ha sido en promedio del 39% desde enero a mayo del 2019, mientras se espera que sea del 54%, siendo las paradas por daños en el motor y en el sistema de frenos lo que genera más impacto en este porcentaje".

Finalmente, el tercer diagrama de Pareto, correspondiente a la figura 2.3, presenta los tipos de fallas que suceden en la grúa TEREX, donde se obtuvo que el 77% de las fallas eran ocasionadas por las paradas del motor y el sistema de transmisión de la grúa.

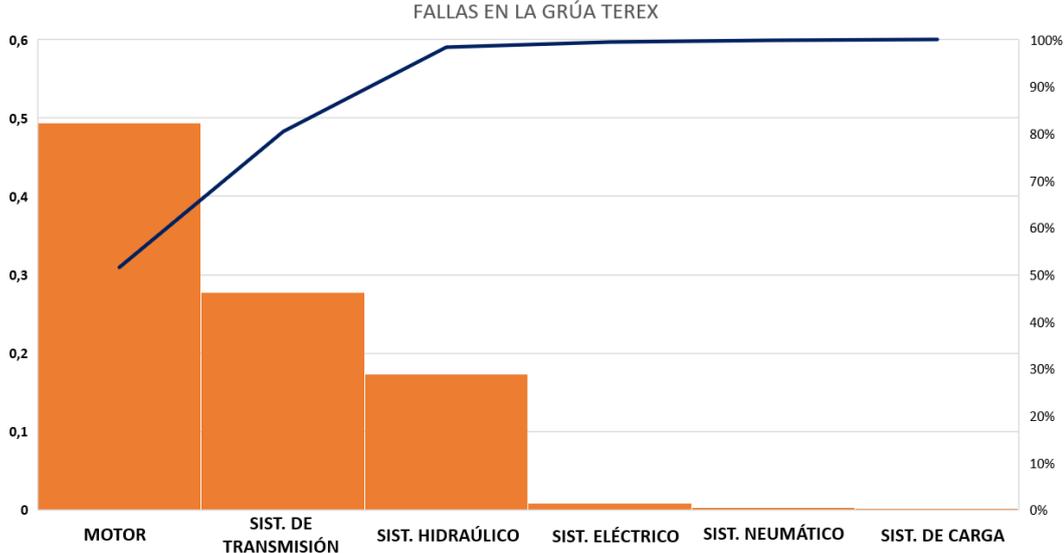


Figura 2.3 Diagrama de Pareto con el porcentaje de fallas en la grúa Terex
 Base de datos empresa en análisis, 2019.
 Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Así mismo, el segundo problema enfocado es el siguiente:

" El porcentaje de disponibilidad de la grúa portacontenedores Terex, perteneciente a un patio de contenedores en Guayaquil, ha sido en promedio del 41% desde enero a mayo del 2019, mientras se espera que sea del 58%, siendo las paras por daños en el motor y en el sistema de transmisión lo que genera más impacto en este porcentaje ".

2.1.1 Plan de recolección de datos

En el plan de recolección de datos que se muestra en la tabla 2.1, se detalló información acerca de qué se va a medir, cómo, cuándo y por qué es necesario medirlo, además de las personas encargadas de la recolección de esta, para ello es importante preguntarse ¿qué afecta a la disponibilidad de las grúas?, respondiendo esta pregunta, la disponibilidad de las grúas es afectada por los siguientes puntos, los cuales van a ser el eje focal de la recolección.

- Las fallas de equipo (breakdown), son consideradas aquellas fallas mayores a 10 minutos..

- Cambio de tareas (Changeover).

Tabla 2.1 Plan de recolección de datos

QUÉ			DÓNDE	CUÁNDO	MÉTODO DE RECOLECCIÓN	POR QUÉ	QUIÉN
VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DE DATOS	¿DÓNDE SE RECOLECTARÁ?	¿CUÁNDO SE RECOLECTARÁ?		¿POR QUÉ SE RECOLECTARÁN LOS DATOS?	PERSONA A CARGO
Paras de grúas	Tipo de para	Cualitativo	Patio de contenedores	11/06/2019-28/08/2019	Base de datos proporcionada por el área de mantenimiento	Permitirá clasificar las paras e identificar aquellas que afectan a la variable respuesta.	Jefe de mantenimiento
	Tiempo de para (horas)	Cuantitativo-continuo				Permitirá calcular el tiempo de paras que afectan a la disponibilidad para medir la variable respuesta disponibilidad de grúas.	
Tiempo de reparación de grúas	horas	Cuantitativo-continuo	Área de mantenimiento de grúas	11/06/2019-28/08/2019	Base de datos proporcionada por el área de mantenimiento	El tiempo de reparación de grúas afecta a la disponibilidad de las grúas	Jefe de mantenimiento

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

2.1.2 Confiabilidad de los datos

Por medio del formato mostrado en la figura 2.4, se tomó aleatoriamente datos de las fallas de las grúas y, junto con la data del jefe de mantenimiento se cruzó la información obtenida para de esta manera medir el porcentaje de confiabilidad de los datos proporcionados.

DATE:	CRANE:			
	MAINTENANCE DATA		LEADERS DATA	
	OPERATIVE	INOPERATIVE	OPERATIVE	INOPERATIVE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

Figura 2.4 Formato de muestreo de confiabilidad de información
Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

June 12	FANTUZZI CRANE				June 12	TEREX CRANE			
	MAINTENANCE DATA		LEADERS DATA			MAINTENANCE DATA		LEADERS DATA	
	OPERATIVE	INOPERATIVE	OPERATIVE	INOPERATIVE		OPERATIVE	INOPERATIVE	OPERATIVE	INOPERATIVE
1		X		X	1	X		X	
2		X		X	2	X		X	
3		X		X	3	X		X	
4		X		X	4	X		X	
5		X		X	5	X		X	
6		X		X	6	X		X	
7		X		X	7	X		X	
8		X		X	8	X		X	
9		X		X	9	X		X	
10		X		X	10	X		X	
11		X		X	11	X		X	
12		X		X	12	X		X	
13		X		X	13	X		X	
14		X		X	14	X		X	
15		X		X	15	X		X	
16		X		X	16	X		X	
17		X		X	17	X		X	
18		X		X	18	X		X	
19		X		X	19	X		X	
20		X		X	20	X		X	
21		X		X	21	X		X	

Figura 2.5 Comparación de datos de mantenimiento vs datos recolectados por las
líderes de la operatividad de las grúas reachstackers
Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 2.5, los datos del área de mantenimiento son confiables, y se encontró una concordancia del 100% de los datos.

2.2 Análisis

2.2.1 Diagrama de causa-efecto (Ishikawa)

Con el diagrama de Ishikawa, se reconocieron las causas potenciales de la baja disponibilidad de las máquinas en análisis con respecto al sistema de transmisión en la grúa Terex, al sistema de frenos en la grúa Fantuzzi y dado que el mecanismo de ambas grúas es similar, se realizó un único diagrama para daños en el motor de ambas grúas, para esto se realizó una lluvia de ideas con las personas involucradas en el proceso de las grúas, tales como mecánicos, operadores, jefe de operaciones y jefe de mantenimiento. En las figuras 2.6, 2.7 y 2.8 se presenta las causas obtenidas luego de la lluvia de ideas realizada.

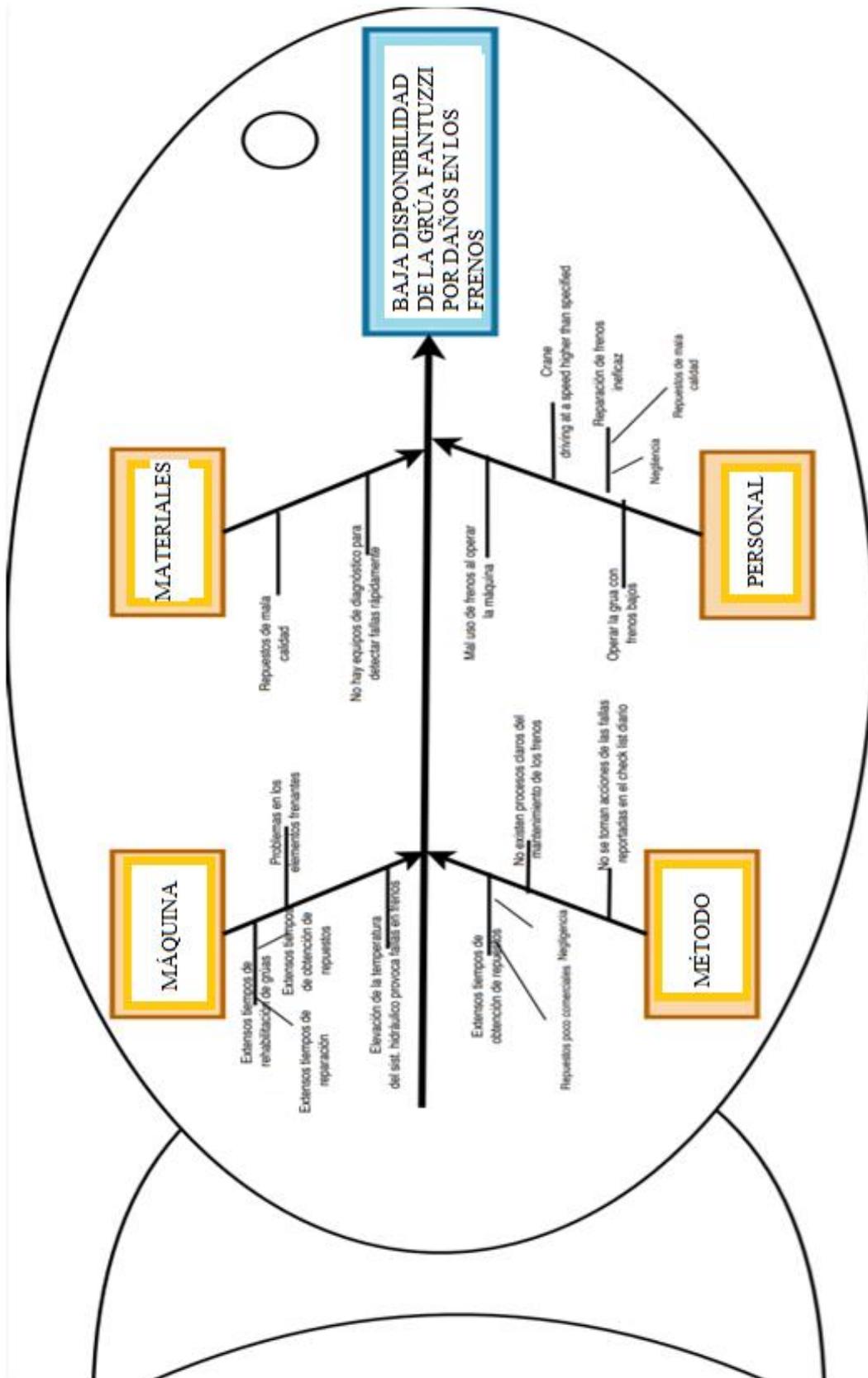


Figura 2.7 Diagrama de Ishikawa para fallas en los frenos

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

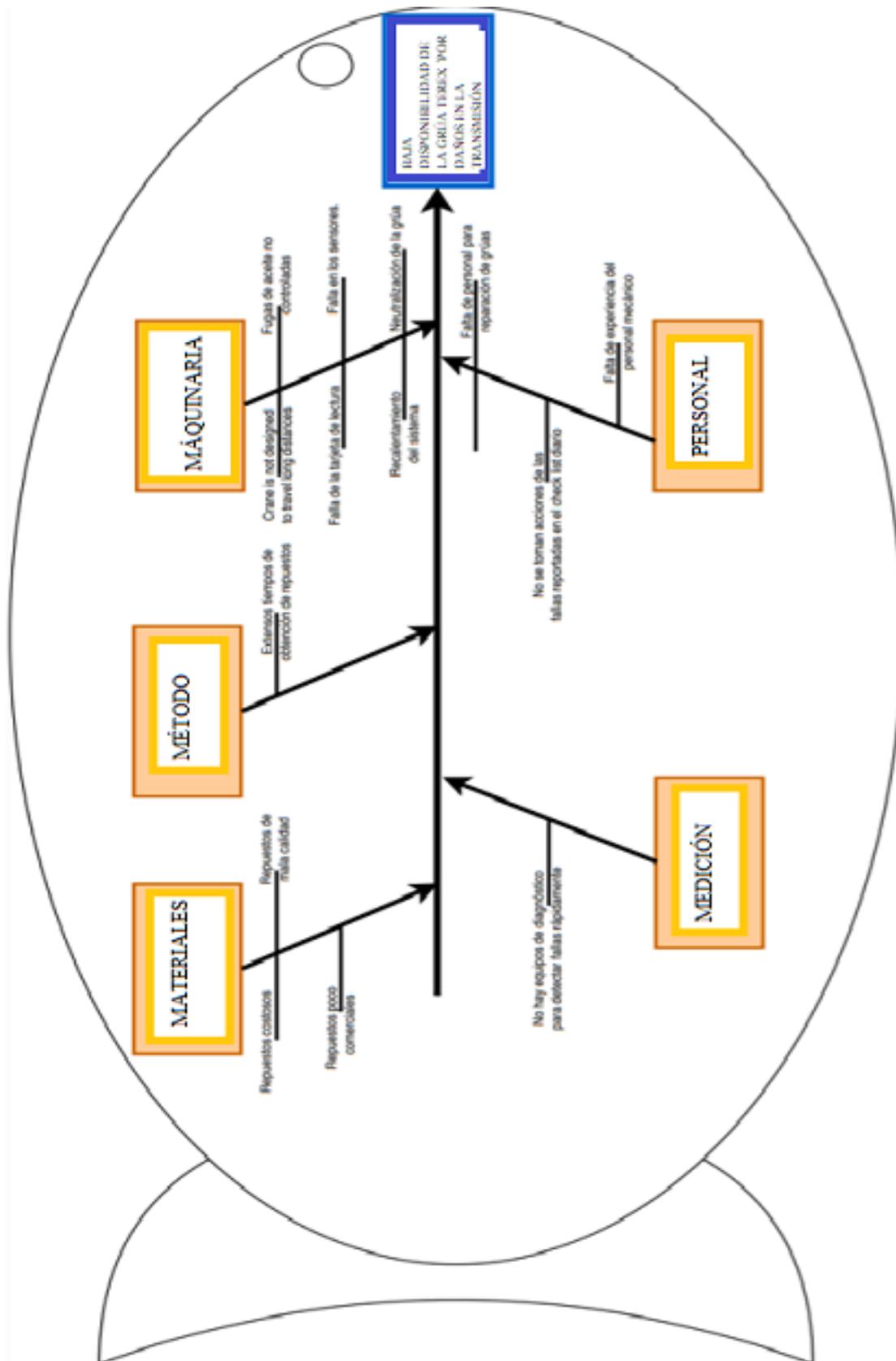


Figura 2.8 Diagrama de Ishikawa para fallas en la transmisión

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

2.2.2 Priorización de causas

Una vez reconocidas las causas potenciales, se procedió con la priorización de estas, se pidió a expertos pertenecientes a la empresa calificar estas causas de acuerdo con la relación que tenían con la variable de salida, para esto se contó con la ayuda de:

- Jefe de mantenimiento
- Jefe de operaciones
- Supervisor de patio
- Mecánico especializado
- Supervisor general

La ponderación utilizada se muestra en la tabla 2.2 adjunta.

Tabla 2.2 Ponderación para priorización de causas

Niveles de relación	
Blanco	ninguna relación
1	Poca correlación
3	correlación moderada
9	Correlación fuerte

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Para cada causa se trabajó con la moda de todas las calificaciones obtenidas y esa moda fue multiplicada por una ponderación de 10 puntos, es así como se obtuvieron los siguientes resultados presentados en las tablas 2.3, 2.4, 2.5.

Tabla 2.3 Priorización para el motor

MOTOR TEREX Y FANTUZZI	
Pocos mecánicos calificados en reparación de motor	30
Falta de personal mecánico para agilizar la reparación de las grúas	90
Extensos tiempos de obtención de repuestos	90
Negligencia al operar la grúa	0
Mala revisión del estado del motor antes de su uso	30
Reparación del motor no efectiva	10
No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente	90
Repuestos de mala calidad	30
No se toman acciones sobre daños en el motor reportados en el checklist	30
Repuestos pocos comerciales	90
Alta utilización de la máquina	0
Fallas en los elementos mecánicos internos	10
Fallas en los elementos externos	30

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

De la tabla 2.3, perteneciente a las causas potenciales por fallas en el motor de las dos grúas, quedaron seleccionadas las siguientes causas:

1. Falta de personal mecánico para agilizar la reparación de las grúas.
2. Extensos tiempos de obtención de repuestos.
3. No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente.
4. Repuestos poco comerciales.

Tabla 2.4 Priorización para la transmisión

SISTEMA DE TRANSMISIÓN TEREX	
Grúa no está diseñada para recorrer largas distancias	30
Existen fugas de aceites no controladas que dañan el sistema de transmisión	30
Falta de experticia por parte de los mecánicos	30
Falta de personal mecánico para realizar reparaciones en grúas	30
No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente	90
Repuestos de mala calidad	30
Alto costo de materiales de repuesto	90
Repuestos poco comerciales	90
Extensos tiempos de obtención de repuestos	90
Fallas por sensores de transmisión	30
Falla del sistema de lectura de la tarjeta	30
Falla en la neutralización de la grúa	30
Recalentamiento de la transmisión	0
No se toman acciones sobre daños en el sist. de transmisión reportados en el checklist	90

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

De igual forma, de la priorización para el sistema de transmisión de la grúa Terex, presente en la tabla 2.4, quedaron a tratamiento las siguientes causas:

1. No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente.
2. Alto costo de materiales de repuesto.
3. Repuestos poco comerciales.
4. Extensos tiempos de obtención de repuestos.
5. No se toman acciones sobre daños en el sistema de transmisión reportados en el checklist.

Tabla 2.5 Priorización para los frenos

FRENOS FANTUZZI	
Mal uso de frenos al operar la máquina	90
Reparación de frenos Ineficaz	30
Manejo de grúa a una velocidad mayor a la especificada	30
No se toman acciones sobre daños en el sist. de frenos reportados en el checklist	30
Repuestos de mala calidad	30
Extensos tiempos de reparación de grúas	90
Extensos tiempos de obtención de repuestos	90
Elevación de la temperatura del sistema hidráulico provoca fallas en los frenos	30
Permitir que la grúa opere con frenos bajos	0
Problemas en los elementos frenantes	30
No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente	30
Inexistencia de métodos claros de procesos de mantenimiento de frenos	0
Repuestos poco comerciales	90

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Finalmente, de la tabla 2.5, quedaron a consideración las siguientes causas para el sistema de frenos de la grúa Fantuzzi.

1. Mal uso de frenos al operar la máquina.
2. Extensos tiempos de reparación de grúas por parte de mecánicos.
3. Extensos tiempos de obtención de repuestos.
4. Repuestos poco comerciales.
5. No se toman acciones sobre daños en el sistema de frenos reportados en el checklist.

2.2.3 Matriz Impacto - Control

Una vez seleccionadas las causas de cada problema en la priorización, fueron colocadas en una la matriz impacto-control, donde únicamente aquellas con bajo control y alto impacto fueron sujeto de análisis posteriores, es así como se tiene:

2.2.3.1 Matriz para las fallas en el motor

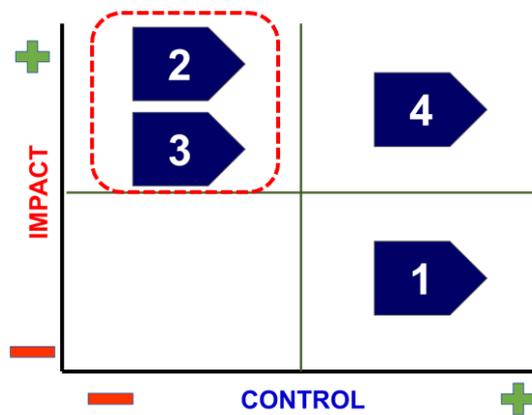


Figura 2.9 Matriz impacto – control para el motor

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se observa en la figura 2.9, las causas seleccionadas corresponden a:

- Extensos tiempos del proceso de compras de repuestos.
- No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente.

2.2.3.2 Matriz para fallas en el sistema de transmisión

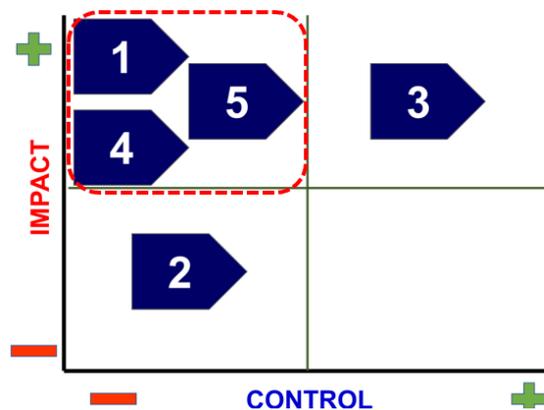


Figura 2.10 Matriz impacto – control para la transmisión

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se observa en la figura 2.10, las causas seleccionadas corresponden a:

- No hay equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente.
- Extensos tiempos del proceso de compras de repuestos.
- No se toman acciones sobre daños en el sistema de transmisión reportados en el checklist.

2.2.3.3 Matriz para fallas en el sistema de frenos

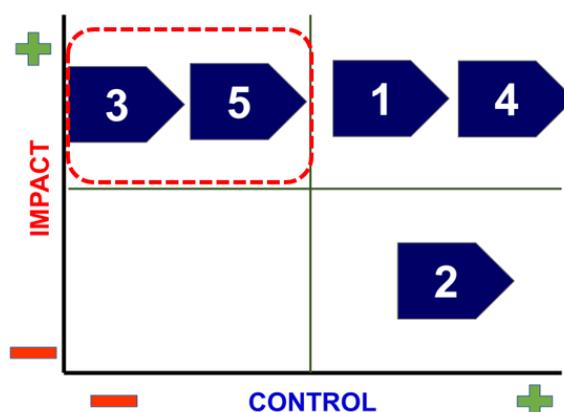


Figura 2.11 Matriz impacto – control para los frenos

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se observa en la figura 2.11, las causas seleccionadas corresponden a:

- Extensos tiempos del proceso de compras de repuestos.
- No se toman acciones sobre daños en el sistema de frenos reportados en el checklist.

2.2.4 Plan de verificación de causas

Obtenidas las causas que generan mayor impacto y son más controlables, se procedió a verificarlas, para esto, se elaboró un plan (tabla 2.6) donde se explica la teoría acerca del impacto en la variable salida y el método a utilizar para comprobar su veracidad .

Tabla 2.6 Plan de verificación de causas

Causas potenciales	Teoría acerca del impacto	Método de verificación	Estado
Extenso tiempo de obtención de repuesto	El proceso de compras lento incrementa el tiempo de rehabilitación de la grúa, por lo tanto, disminuye su disponibilidad	Revisión de datos históricos del lead time de entrega de repuestos/ entrevista/ejemplos	Completo
No cuentan con equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente	La falta de equipos de diagnóstico de fallas extiende los tiempos de reparación y aumenta la probabilidad de fallas por reparación inadecuada, provocando una disminución de la disponibilidad de las grúas	Entrevista con el jefe de mantenimiento- GEMBA	Completo
No se toman acciones de las fallas en el sistema de frenos y transmisión registradas en el checklist diario de la grúa	Aumenta la gravedad de los daños y los tiempos de reparación aumentan, disminuyendo la disponibilidad de la grúa	Revisión de los checklist / GEMBA	Completo

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

2.2.4.1 Verificación de: No cuentan con equipos de diagnóstico para detectar fallas rápidamente

Para esta verificación se realizó una visita al taller mecánico de la empresa, se tuvo una reunión con el jefe de mantenimiento donde explicó que algunos de los elementos de diagnóstico que necesitaban para detectar fallas en el motor eran:

- Probador de fugas del radiador
- Probador de fugas en cilindros
- Probador de inyector

Y los elementos que necesitaba para detectar fallas en el sistema de transmisión eran:

- Manómetro 0-250 PSI
- Medidor de corriente
- Set extractor

Actualmente el taller solo cuenta con manómetros, el cual fue enseñado a las líderes, y se adjunta en la figura 2.12.



Figura 2.12 Manómetro perteneciente al taller mecánico
Ramos y Villavicencio, 2019.

2.2.4.2 Verificación de: No se toman acciones de las fallas en el sistema de frenos y transmisión registradas en el checklist diario de la grúa

Para la verificación de esta causa se consiguieron los registros del checklist de las grúas Terex y Fantuzzi y se cruzó información con la base de datos del área de mantenimiento, de esta forma, se quiso demostrar cuantas de las veces que los operadores de grúas

reportaron inconformidades con los frenos o la transmisión, sus requerimientos fueron atendidos.

Tabla 2.7 Ejemplo de los checklist y el tratamiento dado

DIA	MES	BLOQUEO	TRATAMIENTO
11	2	0	0
12	2	1	0
13	2	1	0
14	2	1	0
14	2	1	0
15	2	1	0
15	2	1	0
15	2	1	0
16	2	1	0
17	2	1	0
18	2	1	0
18	2	1	0
19	2	1	0

Registros del checklist diario de empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Como se aprecia en el ejemplo de la tabla 2.7, el bloqueo = 0 significa que el operador no reportó inconformidades, caso contrario, se colocó 1, y para el tratamiento = 0 significa que los mecánicos no dieron tratamiento al problema reportado, caso contrario se colocó 1. Esto se realizó tanto para frenos como para transmisión y el resultado fue el siguiente:

- Máquina Terex

De un total de 140 reportes elaborados desde febrero hasta julio, 138 reportaron problemas con la neutralización de la máquina y únicamente 2 veces fue atendida la grúa.

Esto nos da un total de 0.014% de atención a checklist por neutralización.

- Máquina Fantuzzi

De un total de 74 reportes elaborados desde febrero hasta julio, 70 reportaron problemas con los de la máquina y únicamente 1 vez fue atendida la grúa.

Esto nos da un total de 0.014% de atención a checklist por frenos.

2.2.4.3 Verificación de: Extensos tiempos de obtención de repuestos

Para verificar que el tiempo de obtención de repuestos es extenso, se revisó la data de los últimos 5 meses del sistema de compras. Como se muestran en las tablas 2.8 y 2.9

el lead time depende de si los repuestos son o no comerciales, esto quiere decir si los y repuestos se encuentran en stock de los proveedores o si debe ser enviado a fabricar.

Tabla 2.8 : Lead time de repuestos comerciales locales

	REPUESTOS COMERCIALES LOCALES				
	Pedido de repuesto	Solicitud de Cotización	Aprobación de jefatura y gerencia	Compra	Lead time de proveedores
Tiempo	0	12 horas	24 horas	48 horas	2 horas
Tiempo acumulado 1	0	12 horas	36 horas	84 horas	86 horas
Tiempo acumulado 2	0	12 horas	12 horas	12 horas	14 horas

Registros de compras de empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Tabla 2.9 : Lead time de repuestos locales no comerciales

	REPUESTOS NO COMERCIALES LOCALES				
	Pedido de repuesto	Solicitud de Cotización	Aprobación de jefatura y gerencia	Compra	Lead time de proveedores
Tiempo	0 días	2 días	1 día	2 días	21 días
Tiempo acumulado	0 días	2 días	3 días	5 días	26 días

Registros de compras de empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

Para el caso específico de que los repuestos se encuentren en stock o sean comerciales, el lead time promedio desde que surge la orden de requerimiento hasta que el repuesto llega a bodega se muestra en la tabla 2.8.

Cabe destacar que el tiempo acumulado 1 es de 86 horas porque toma en cuenta la aprobación de gerencia y un tiempo de transferencia de dinero, esto ocurre cuando los proveedores no dan crédito a la empresa y se debe pagar al contado, mientras que el tiempo acumulado 2 es mucho menor debido a que el proveedor da crédito a la empresa y son repuestos considerados de bajo costo.

Como se muestra en la tabla 2.9, para el caso específico de que la compra del repuesto se realice localmente, pero se deba enviar a fabricar, el lead time aumenta a 26 días, debido a que el lead time promedio de este tipo de proveedores es de 3 semanas.

Para el proceso de compras de repuesto por importación se realizó una entrevista con el gerente de operaciones, del cual se obtuvo que el lead time de promedio de los proveedores extranjeros es de 2 a 4 semanas a este tiempo se debe agregar demoras en el proceso por confirmación de pedido, emisión de orden de compra, emisión de

facturas, etc. En la tabla 2.10 se muestra un ejemplo de una importación de una bomba de marca Fantuzzi.

Tabla 2.10 : Ejemplo de importación de repuesto

Importación		Bomba FANTUZZI									
Fecha	12-sep-18	21-sep-18	9-oct-18	19-oct-18	26-oct-18	31-oct-18	5-nov-18	8-nov-18	15-nov-18	21-nov-18	28-nov-18
Quién	Gerente de la compañía	Personal de venta del proveedor	Personal de venta del proveedor	Gerente de la compañía	Personal de venta del proveedor	Personal de venta del proveedor	Gerente de la compañía	Personal de venta del proveedor	Gerente de la compañía	Personal de venta del proveedor	Personal de venta del proveedor
Proceso	Pedido de cotización	repuesta de demora de proveedor	Envío de la cotización del proveedor	Repuesta de confirmación	Pedido de selección del medio de transporte y términos contractuales	Pedido de orden compra	Confirma orden de compra	Emita factura	Realización de transferencia	Embarque del pedido	Repuesto en bodega
días	0	9 días	18 días	10 días	7 días	5 días	5 días	3 días	12 días	9 días	7 días
Días acumulados	0	9 días	27 días	37 días	44 días	49 días	54 días	57 días	69 días	78 días	85 días

Registros de compras de empresa en análisis, 2019.

Elaboración Ramos y Villavicencio, 2019

En el ejemplo anterior el lead time de obtención de repuesto fue de 85 días, se puede observar que hasta la confirmación de la orden de compra transcurren 54 días, este tiempo se podría reducir agilizando las aprobaciones por parte de gerencia de compra del repuesto.

2.2.5 Análisis de causa raíz

Verificadas las causas potenciales de alto impacto, se procedió a realizar con cada una de ellas un análisis de causa raíz utilizando la técnica de los 5 por qué.

2.2.5.1 Extenso tiempo de obtención de repuestos

El extenso tiempo de obtención de repuestos afecta directamente al tiempo de rehabilitación de la grúa ya que la máquina se encuentra sin operar, en espera de ser reparada el tiempo que tarde en llegar el repuesto.

Para este análisis se decidió separar bajo el criterio de compras locales e importaciones.

2.2.5.1.1 Compras locales

Tabla 2.11: Análisis de causa raíz de extenso tiempo de compra de repuestos locales

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS
¿Por qué es extenso el tiempo de obtención de repuestos?	SI						
Atrasos por espera de especificaciones completas del repuesto requerido							
Variabilidad del tiempo de confirmación de gerencia	SI						
Porque el lead time de proveedores alto	SI	Por qué el lead time de proveedores es alto?	SI	¿Por qué deben conseguir o fabricar los repuestos?	SI	¿Por qué no tienen los proveedores los repuestos en Stock?	SI
		Porque deben fabricar o conseguir los repuestos		Porque no tienen los repuestos en stock		Porque son repuestos pocos comerciales	
		Por qué el lead time de proveedores es alto?	SI	¿Por qué el tiempo de viaje es largo?	SI		
		Por el tiempo de viaje		Porque los proveedores son de otras provincias			
Porque el tiempo de cotización es largo	SI	Por qué el tiempo de cotización es largo?	SI	Por qué los repuestos son difíciles de conseguir?	SI		
		Porque los repuestos son difíciles de conseguir		Porque los repuestos son poco comerciales			
		Por qué el tiempo de cotización es largo?	SI	Por qué algunos proveedores no atienden sus pedidos?	NO		
		Porque algunos proveedores no atienden sus pedidos		Por créditos antiguos no cancelados			
Porque el proceso de pagos realizados al contado presenta demoras	SI	Por qué presenta demoras el proceso de pago?	SI	Por qué se debe realizar transferencia?	SI		
		Porque se debe realizar transferencias		Porque el monto de repuestos no entra dentro de caja chica			
		Por qué presenta demoras el proceso de pago?	NO				
		Porque requiere mayor papeleo					

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 2.11, las causas raíces que se obtuvieron fueron:

- Las personas no detallan bien las especificaciones del repuesto requerido.
- Tiempo de espera de confirmación de gerencia y jefatura extenso.
- Los repuestos son pocos comerciales.
- El monto de repuestos no entra dentro del presupuesto de caja chica.

Debido a que no se dan las especificaciones de las piezas de repuesto correctamente, existe una demora mientras el jefe de compras solicita las especificaciones completas

nuevamente, o si el caso lo amerita, hasta que se le envíe la muestra del repuesto para que pueda conseguirlo.

Por lineamientos de procedimiento el jefe de compra debe esperar la aprobación de gerencia antes de realizar una compra, en esta parte del proceso existen oportunidades de mejora. La solicitud de aprobación se envía por medio de correo electrónico, en ocasiones estos correos quedan en espera debido a la gran cantidad de correos que gerencia debe atender, además en algunos casos, gerencia no se encuentra al tanto de para qué se necesitan algunos repuestos y antes de aprobar la compra, pide más información, todo esto extiende el lead time de obtención del repuesto.

Como los repuestos son poco comerciales, es decir, no son fáciles de encontrar en el mercado, con frecuencia es necesario mandar a fabricarlos; lo que aumenta el lead time de los proveedores y el tiempo de cotización de los repuestos.

Puesto que el monto de los repuestos no entra dentro de caja chica, se debe realizar transferencias las cuales aumentan en aproximadamente dos días el lead time de obtención de repuestos.

2.2.5.1.2 Compras por Importaciones

Tabla 2.12: Análisis de causa raíz de proceso de obtención de repuestos extenso por medio de importación

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS	RONDA 5	HIPÓTESIS
¿Por qué es extenso el tiempo de obtención de repuestos?	SI	¿Por qué los tiempos de confirmación de especificaciones en el pedido son extensos?	SI	¿Por qué el tiempo de análisis de costos es extenso?	SI	¿Por qué los encargados de realizar la importaciones tienen otras actividades prioritarias?	SI	Por qué realiza gerencia las compras por importaciones?	SI
Porque los tiempos de confirmación de especificaciones en el pedido son extensos.		Por el tiempo que toma realizar el análisis de costo		Porque los encargados de realizar las compras por importaciones tienen otras actividades prioritarias		porque el proceso de importación lo realiza gerencia		Porque es una compra que la compañía considera de carácter delicado por su alto costo y dificultad	
Porque el lead time de entrega de pedidos de los proveedores es alto	SI	Por qué el lead time de proveedores es alto?	SI		SI				
		Porque se debe mandar a fabricar o conseguir el repuesto		Porque no tienen los repuestos en stock		Porque las máquinas son antiguas	SI		
						Repuestos pocos comerciales	SI		
		Porque el tiempo de viaje es largo	SI						

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 2.12, del extenso tiempo de compra de repuestos por medio de importación se obtuvieron las siguientes causas raíces:

- Las máquinas son antiguas.
- Repuestos poco comerciales.
- Largo tiempo de viaje.
- Las compras por medio de importación son consideradas de carácter delicado para la empresa.

Dado que los repuestos son pocos comerciales y que las grúas son antiguas, la compañía que absorbió la marca TEREX y FANTUZZI no mantiene en almacenamiento algunos de los repuestos de estas máquinas, ya que las grúas nuevas que fabrican utilizan otro tipo de piezas, por lo tanto, con frecuencia se debe mandar a fabricar las piezas de repuesto, lo que incrementa el lead time de obtención de repuestos.

Debido a que los repuestos son importados al lead time de compra se debe sumar el tiempo de viaje dependiendo del medio en que se realice.

Como las importaciones son consideradas de carácter delicado por su alto costo y esfuerzo, son realizadas por gerencia, sin embargo, estos tienen otras actividades prioritarias y necesitan de tiempo para evaluar la compra, esto extiende los tiempos de confirmación de la adquisición del repuesto, que afecta directamente al lead time de compra.

2.2.5.2 No se toman en cuenta los reportes por falla de frenos realizado por los operarios en el checklist diario

Tabla 2.13: Análisis de causa raíz no se toman en cuenta los reportes del checklist por frenos

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS
Por qué no se toman acciones de los reportes de falla de frenos en el checklist diario realizado por los operadores de grúas?	SI	¿Por qué no son confiables los reportes?	SI	¿Por qué la revisión que se realiza no es correcta?	SI
Los reportes no son confiables		No se realiza una revisión correcta		Negligencia de algunos operadores/mecánicos	
				¿Por qué la revisión que se realiza no es correcta?	NO
				Los operadores no identifican bien las partes de la grúa	
Por qué no se presta atención a los reportes de falla de frenos en el checklist diario realizado por los operadores de grúas?	SI	¿Por qué se necesita la máquina operativa?	SI		
Porque se necesita la máquina operativa		Para cumplir con la planificación del patio			

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 2.13, del análisis se obtuvo las siguientes causas raíces:

- Existe negligencia por parte de algunos operadores y mecánicos.
- Se necesita cumplir con la planificación del patio.

Negligencia se refiere a la falta de diligencia para cumplir con una obligación; aunque los operarios de grúas deben realizar el checklist diario y a pesar de conocer la manera de realizarlo adecuadamente, se pudo comprobar que no prueban correctamente los campos de revisión, igualmente los mecánicos, deberían firmar una vez realizada la revisión por los operarios, pero no lo hacen cuando deben hacerlo; esto afecta en la confiabilidad de la información reportada al jefe de mantenimiento, quien, debido a este tema, no toma acciones con algunas fallas reportadas en el checklist diario de la grúa, otra razón por la que no se toma acción sobre los reportes de fallas en el checklist, es que no se puede parar la máquina para realizarle todos los mantenimientos requeridos, debido a que necesitan cumplir con la planificación del patio y para ello necesitan grúas disponibles.

2.2.5.3 No se toman en cuenta los reportes por falla en el sistema de transmisión realizado por los operarios en el checklist diario

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS
Por qué no se toman acciones de los reportes de falla de transmisión en el checklist diario realizado por los operadores de grúas?	SI	¿Por qué no son confiables los reportes?	SI	¿Por qué la revisión que se realiza no es correcta?	SI		
Los reportes no son confiables		No se realiza una revisión correcta		Negligencia de algunos operadores/mecánicos			
				¿Por qué la revisión que se realiza no es correcta?	NO		
				Los operadores no identifican bien las partes de la grúa			
Por qué no se toman acciones de los reportes de falla de transmisión en el checklist diario realizado por los operadores de grúas?	SI	¿Por qué no se conoce el problema que ocasiona la falla en el sistema de transmisión?	SI	¿Por qué no se ha hecho una inspección exhaustiva para identificar el daño?	SI	¿Por qué el problema no es de prioridad A?	SI
Desconocimiento del problema que ocasiona la falla en el sistema de transmisión		Porque no se ha hecho una inspección exhaustiva para identificar el daño		Porque el problema no es de prioridad A		Porque la falla no impide el funcionamiento de la máquina	
				¿Por qué no se ha hecho una inspección exhaustiva para identificar el daño?	SI	¿Por qué se necesita operatividad de máquina?	SI
				Porque se necesita operatividad de máquina		Para cumplir con la planificación del patio	

Tabla 2.14: Análisis de causa raíz no se toman en cuenta los reportes del checklist por sistema de transmisión
Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.14, utilizando la técnica de los 5 por qué, se obtuvieron las siguientes causas raíces:

- Existe negligencia por parte de algunos operadores y mecánicos.
- Se necesita cumplir con la planificación del patio.
- La falla no impide el funcionamiento de la grúa.

Algunos operadores y mecánicos son negligentes en realizar el procedimiento del checklist, aunque los operarios saben la manera correcta de realizar el procedimiento, no lo llevan a cabo adecuadamente, de igual manera, los mecánicos deben firmar el checklist una vez realizado por los operarios, sin embargo, la mayoría de veces, los mecánicos firman después de los turnos o no firman.

La neutralización es una falla del sistema de transmisión que bloquea la máquina por unos segundos, hasta que esta sea reiniciada. Como esta falla no impide el funcionamiento de la grúa como tal y como no se ha descubierto la causa de la falla, aún

no se ha solucionado este problema, ya que para poder cumplir con la planificación del patio es necesario tener disponible al menos 3 grúas y con mucha frecuencia más de una grúa se encuentra dañada, lo que hace difícil parar la grúa para realizar una investigación profunda de esta falla en el sistema de transmisión.

2.2.5.4 No cuentan con equipos de diagnóstico para detectar daños en el sistema de transmisión.

Tabla 2.15: Análisis de causa raíz, no se cuenta con equipos de diagnóstico

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS
¿Por qué los mecánicos no cuentan con equipos de diagnóstico para detectar daños en el sistema de transmisión?	SI	¿Por qué el área de taller mecánico no ha puesto el pedido en gerencia?	NO
Porque el área de taller mecánico no ha puesto el pedido en gerencia		Porque no era una necesidad de primer orden tiempo atrás	

Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.15, al poner en práctica la herramienta de los 5 por qué, no se pudo verificar la hipótesis perteneciente a la ronda 2 de preguntas.

2.3 Propuestas de mejora

En esta etapa del proyecto se comenzó con una lluvia de ideas de mejoras para las causas raíz encontradas anteriormente, que involucró a los dueños de los procesos en análisis, por lo tanto, se contó con la participación del jefe de mantenimiento, el encargado de compras y el gerente de operaciones.

Las ideas encontradas por cada causa se muestran a continuación:

Tabla 2.16 Brainstorming de soluciones a proponer

CAUSA	CAUSA RAÍZ	N°	SOLUCIÓN PROPUESTA
Falta de atención a los reportes del checklist diario de la grúa	Negligencia de algunos operadores/mecánicos	1	Elaboración de procedimiento/instructivo del checklist
	Porque la falla no impide el funcionamiento de la máquina	2	Estandarización de los tiempos de reparación de grúas según la prioridad establecida
	Para cumplir con la planificación del patio	3	Estudio de tiempo y movimientos para mejorar la planificación de la operación de grúas
Extenso tiempo de obtención de repuestos	Porque son repuestos pocos comerciales	4	Diseño de un plan de mantenimiento predictivo
			Aumento de base de datos de proveedores de repuestos
			Gestión de inventario de piezas de repuesto
			Rediseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas
	Porque los proveedores son de otras provincias	5	Aumento de base de datos de proveedores de repuestos
	Atrasos por espera de especificaciones completas del repuesto requerido	6	Rediseño del sistema de compras EPIC (Envío de recordatorios para disminuir el tiempo de confirmación, configuración del flujo del proceso, indicadores)
	Variabilidad del tiempo de confirmación de gerencia	7	Rediseño del sistema de compras EPIC (Envío de recordatorios para disminuir el tiempo de confirmación, configuración del flujo del proceso, indicadores)
	Porque las máquinas son antiguas	8	Análisis de adquisición de una grúa nueva
	Porque el tiempo de viaje es largo	9	Aumento de base de datos de proveedores de repuestos

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

En la tabla 2.16 adjunta, se puede observar que cada propuesta de solución está ligada a una causa raíz y a su vez la causa raíz está ligada a su causa potencial.

2.3.1 Priorización de soluciones

En el apéndice C se encuentra la tabla de priorización de soluciones, donde se observa que el impacto dado a cada propuesta es un promedio de las calificaciones del 1 al 5 dadas por el supervisor de patio, jefe de mantenimiento, gerente general y jefe de mejora continua, donde 1 representa poco impacto y 5 mucho impacto. De igual forma, el esfuerzo fue calificado del 1 al 5 por las autoras tomando en cuenta dos criterios: costo con una ponderación de 5 y rapidez de implementación con una ponderación de 6, es necesario recalcar que las ponderaciones fueron dadas por el gerente de operaciones y que de igual forma 1 representa poco esfuerzo y 5 mucho esfuerzo.

Como resultado del análisis empleado, se encontraron las siguientes soluciones a proponer, siendo seleccionadas aquellas que se encuentren encerradas en la figura 2.13.

2.3.1.1 Matriz impacto-esfuerzo

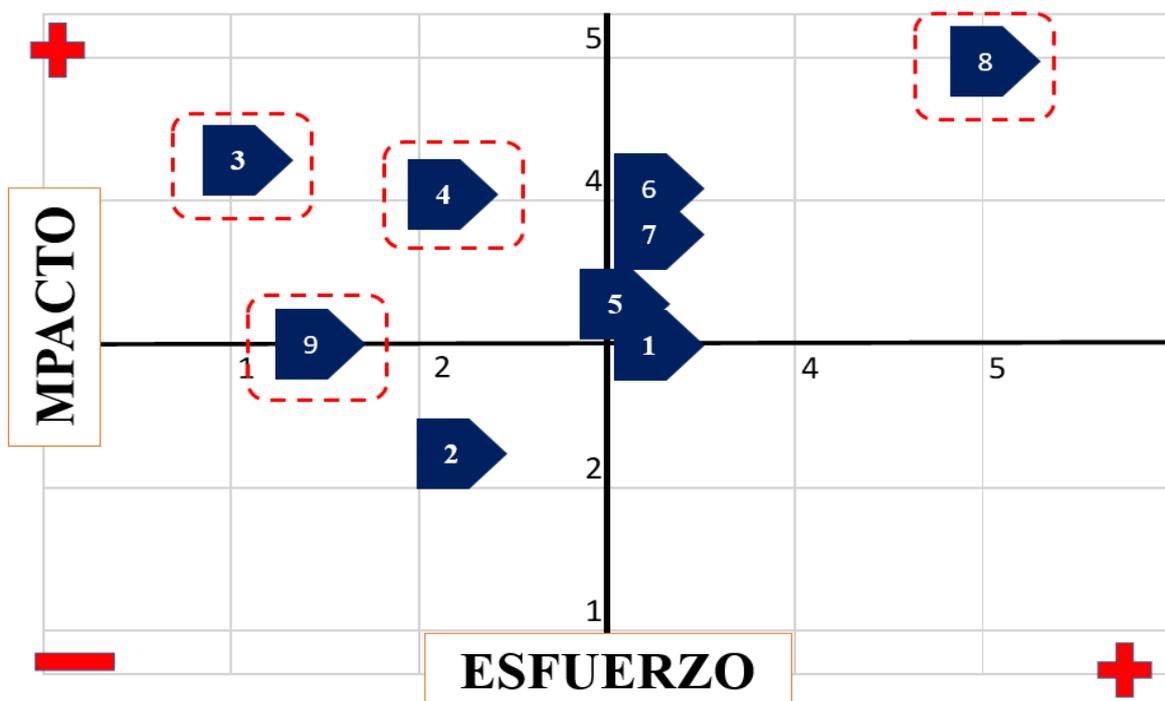


Figura 2.13 Matriz impacto – esfuerzo de propuestas de mejora

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Haciendo referencia a la tabla 2.16, las propuestas a trabajar son las siguientes:

- 3: Elaboración de procedimiento/instructivo del checklist.
- 4: Rediseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas.
- 8: Análisis de adquisición de una grúa nueva.
- 9: Gestión de inventario de piezas de repuesto valorando la criticidad de cada una.

La propuesta 8 se ha tomado en consideración a pedido de la gerencia de la empresa.

2.3.2 Plan de implementación

El plan de implementación permite programar las actividades que se realizarán, de forma ordenada para poder cumplir con las propuestas de solución y proporciona información de los objetivos por los cuales se efectuará la implementación, cómo se la llevará a cabo, cuánto costará, quién estará a cargo, cuándo y en qué lugar se implementará, tal como se muestra en la tabla 2.17.

Tabla 2.17 Plan de implementación

N°	QUÉ?	CAUSA RAÍZ	POR QUÉ?	CÓMO?	DÓNDE?	QUIÉN?	COSTO	CUÁNDO?	ESTADO
3	Elaboración de procedimiento/instructivo del check list y reportes de tarjetas TPM	Negligencia de algunos operadores/mecánicos	Porque se debe aumentar la confiabilidad de los reportes del check list diario y tarjetas TPM, para que se tome acciones de estas.	Junto con el jefe de mantenimiento simular la correcta realización del check list, se tomarán tiempos por actividad y fotos para estandarizar el procedimiento.	Patio de contenedores TERCON	Líderes del proyecto/Ing mantenimiento	N/A	05/08/2019 - 12/08/2019	En proceso
4	Rediseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas	Repuestos poco comerciales	Un plan de mantenimiento adecuado, reducirá los mantenimientos correctivos, los cuales impactan negativamente a la disponibilidad	Junto al ingeniero de mantenimiento se establecerán los controles de acuerdo a la vida útil de piezas y recomendaciones del fabricante en cuanto a tiempos adecuados de realización de mantenimiento	Patio de contenedores TERCON	Líderes del proyecto/Ing mantenimiento	N/A	05/08/2019 - 25/08/2019	En proceso
8	Análisis de adquisición de una grúa nueva	Máquinas son antiguas	Porque una de las grúas en análisis está totalmente depreciada, y los costos de mantenimiento son elevados así como el tiempo y esfuerzo que conlleva reparar la grúa, la compra de una nueva grúa aumentaría la disponibilidad y reduciría costos.	Análisis de costo/beneficio de la compra de una grúa nueva	Oficina administrativa TERCON	Líderes del proyecto	185000	05/08/2019 - 12/08/2019	En proceso
9	Gestión de inventario de piezas de repuesto	Repuestos poco comerciales	Disminuirá los tiempos de rehabilitación de grúas, al evitar las esperas por compra de repuestos, afectando directamente a la disponibilidad	Análisis del patrón de la demanda de repuestos, lead time promedio de abastecimiento, para seleccionar la política de inventario adecuada.	Bodega TERCON	Líderes del proyecto/Encargado de bodega	N/A	05/08/2019 - 25/08/2019	En proceso

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Las cuatro propuestas de soluciones contaron con la participación de las líderes del proyecto, que obtuvieron ayuda del jefe de mantenimiento y el encargado de la bodega de repuestos.

Finalmente, en el apéndice D se encontrará un diagrama de Gantt con las actividades y fechas tentativas donde se puso en marcha el plan de implementación.

2.4 Implementación

2.4.1 Elaboración de procedimiento/instructivo del checklist para mejorar el llenado de las tarjetas rojas TPM

Actualmente la empresa no cuenta con un procedimiento de realización del checklist, por lo que no se encuentra estandarizada la forma correcta de realizarlo, esto da lugar a que algunos operarios y mecánicos sean negligentes realizando este procedimiento. Además, cuando se contrata a nuevo personal operativo, se requiere mayor esfuerzo en capacitarlos sin un documento base. Por estos motivos, se elaboró el procedimiento y el formato de realización del checklist, el procedimiento fue revisado y aprobado por la ingeniera de seguridad industrial y por el gerente de operaciones de la empresa.

Para poder escribir el procedimiento adecuado para realizar el checklist, se conversó con los operarios de grúas para poder grabarlos durante el desarrollo de este y junto al jefe del área de mecánica se constató que la manera de efectuar el checklist sea la correcta. En este procedimiento se incluyen las acciones que se deben tomar en caso de encontrar alguna anomalía en la grúa y servirá como soporte para los operarios de grúas y mecánicos.

Finalmente el procedimiento se socializó con los operarios de las grúas, se recalcó la importancia de realizar correctamente el checklist y se hizo énfasis en el llenado de las tarjetas de TPM cada que encuentren una falla mecánica de la grúa para que se puedan tomar acciones respecto a estas.

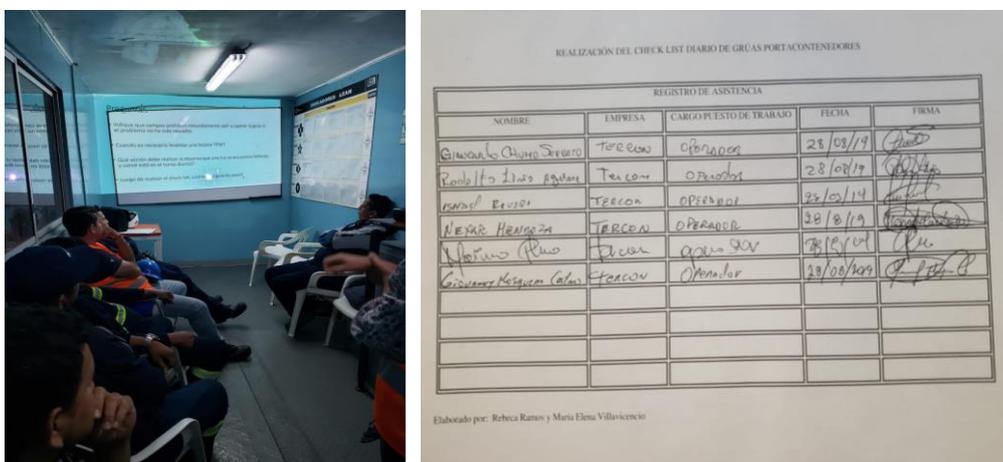


Figura 2.14 Socialización con operadores de grúa
Ramos y Villavicencio, 2019.

2.4.2 Rediseño de un programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas

Junto al Jefe de mantenimiento y con soporte en el manual de la grúa se identificaron los mantenimientos con sus respectivas actividades y partes necesarias para llevarse a cabo, con el objetivo de que la máquina trabaje en óptimas condiciones. (Uday Kumar, Diego Galar, Aditya Parida and Christer Stenstroöm, 2013).



The image shows a graphical user interface for a maintenance program. On the left is a blue rounded rectangle containing a cartoon illustration of a male mechanic in a blue uniform and cap, holding a wrench. Below the illustration is a white button with the text 'INGRESAR INFORMACIÓN'. To the right is a window titled 'UserForm1' with a close button (X) in the top right corner. The form contains several input fields and dropdown menus arranged in two columns. The fields are: 'FECHA' (text), 'GRÚA' (dropdown), 'H. DISPONIBLES' (text), 'HORAS INICIALES' (text), 'HORAS FINALES' (text), 'TURNO' (dropdown), 'AVERÍA' (dropdown), 'ELEMENTO QUE FALLO' (text), 'T. PARADA' (text), and 'OBSERVACIÓN' (text area). At the bottom of the form are two buttons: 'GUARDAR' and 'CANCELAR'.

Figura 2.15 Programa de mantenimiento preventivo
Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

Se elaboró un programa con la herramienta macros de excel, como se muestra en la figura 2.15, el cual abre un formulario que guarda la información diaria correspondiente a las fallas de las máquinas y las horas trabajadas. El programa tiene un contador para cada mantenimiento que generará una alarma cuando se cumpla el tiempo de frecuencia en que se debe hacer cada mantenimiento de la grúa Terex y Fantuzzi, cuando se responda que se ha dado el mantenimiento en el aviso, el contador de ese mantenimiento se reiniciará y volverá a contar las horas hasta el siguiente mantenimiento, en caso de no hacer mantenimiento se seguirán acumulando las horas. En otra hoja del Excel se genera un historial con la fecha en que se realiza el mantenimiento, de esta manera se podrá generar indicadores y llevar un mejor control de los mantenimientos efectuados.

2.4.3 Análisis de adquisición de una grúa nueva

Se realizó un análisis de reemplazo de la grúa Fantuzzi la cual actualmente está totalmente depreciada, este análisis fue presentado a gerencia.

2.4.4 Gestión de inventario de piezas de repuesto valorando la criticidad de cada una.

Junto al jefe de mantenimiento se estableció la criticidad de las partes de las grúas bajo análisis, de aquellas partes priorizadas se escogió mantener en inventario aquellas que pertenecen al sistema de transmisión, frenos y motor, ya que el enfoque de este proyecto fue en las fallas pertenecientes a esos sistemas debido al porcentaje de tiempo total de falla que representaban estas.

SISTEMAS	SUBSISTEMAS	ACTIVIDAD	Grúa	Código	Repuesto	Código de pieza	QT	TR	frecuencia	EOQ	ss	R	costo total de mantene inventario
MOTOR	Refrigeración	Cambiar bomba de agua	TEREX	MOR001	Bomba de agua	3940052	1	2 horas	1500	2	1.117178288	1.143844954	434.01
		Cambio de radiador	TEREX	MOR002	Radiador	2225.010.002	1	4 horas	3500	1	0.677112294	0.69969437	608.17
		Cambio de radiador	FANTUZZI	MOR003	Radiador	2225.157003	1	5 horas	3500	1	0.677112294	0.69969437	612.00
		Cambiar tapa de radiador	TEREX	MOR004	Tapa de radiador	29875187	2	10 min	3000	6	0.789964343	0.803297676	66.04
		Cambiar termostato	TEREX	MOR005	Termostato (84 a 91°C)	3940632	1	1 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	188.44
		Cambiar deposito de refrigerante	TEREX	MOR006	Deposito de refrigerante	2654.100.0001	1	1 hora	4500	1	0.372392763	0.381281651	242.18
		Cambiar manguera superior de radiador	TEREX	MOR007	Manguera superior de radiador	2708.658.0015	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambiar manguera superior de radiador	FANTUZZI	MOR008	Manguera superior de radiador	2708.658.0013	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambiar manguera inferior de radiador	TEREX	MOR009	Manguera inferior de radiador	2708.658.0023	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambiar manguera inferior de radiador	TEREX	MOR010	Manguera inferior de radiador	2708.658.0022	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambiar manguera inferior de radiador	FANTUZZI	MOR011	Manguera inferior de radiador	2708.658.0011	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambiar manguera inferior de radiador	FANTUZZI	MOR012	Manguera inferior de radiador	2708.660.0003	1	1.5 hora	3000	2	0.394982172	0.401648838	112.31
		Cambio de polea de ventilador	TEREX	MOR013	Polea de ventilador	3926855	2	1 hora	3000	3	1.766413971	1.833080638	279.01
		Cambio de bandas de ventilador	TEREX	MOR014	Bandas de ventilador	3911620	1	20 min	4000	2	0.296236629	0.301236629	119.96
		Cambio de bandas de ventilador	FANTUZZI	MOR015	Bandas de ventilador	3911562	1	20 min	4000	2	0.296236629	0.301236629	119.96
		Cambio de rodamiento polea de ventilador	TEREX	MOR016	Rodamiento de polea de ventilador	3910739	2	2 horas	3000	3	1.117178288	1.143844954	279.01
		Cambio de ventilador	TEREX	MOR017	Ventilador	3914267	2	40 min	12000	1	0.441603493	0.458270159	384.10
		Cambio de refrigerante	TEREX	MOR018	Refrigerante		2	15 min	1500	4	2.234356576	2.287699909	707.44
	Alimentación de combustible	Cambio de cañenas de combustible	TEREX	MOC001	Cañenas de combustible	3943595	2	3 horas	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
		Cambio de cañenas de combustible	TEREX	MOC002	Cañenas de combustible	3943599	2	3 horas	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
		Cambio de cañenas de combustible	TEREX	MOC003	Cañenas de combustible	3943597	2	3 horas	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
		Cambio de filtro trampa de agua	TEREX	MOC004	Filtro trampa de agua		2	15 min	500	14	4.739786058	4.819786058	458.93
		Cambio de filtro de combustible	TEREX	MOC005	Filtro de combustible	3943434	2	15 min	250	15	9.479572117	9.639572117	1498.21
		Cambiar cañenas de inyector	TEREX	MOC006	Cañenas de inyector	3944686	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
		Cambiar cañenas de inyector	TEREX	MOC007	Cañenas de inyector	3944688	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
		Cambiar cañenas de inyector	TEREX	MOC008	Cañenas de inyector	3944690	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00
Cambiar cañenas de inyector		TEREX	MOC009	Cañenas de inyector	3944692	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00	
Cambiar cañenas de inyector		TEREX	MOC010	Cañenas de inyector	3944694	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00	
Cambiar cañenas de inyector	TEREX	MOC011	Cañenas de inyector	3944696	2	1 hora	50000	1	0.067030697	0.068630697	10.00		
Cambio de Estrangulador para apagado	TEREX	MOC012	Estrangulador para apagado	3928160	2	1.5 hora	12000	2	0.441603493	0.458270159	68.63		

Figura 2.16 Política de inventario para repuestos recurrentes

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

La figura 2.16 muestra la política de inventario para repuestos recurrentes, para ello se realizó la búsqueda de las especificaciones de las partes seleccionadas, se estableció códigos para identificarlas y se seleccionó una política de inventario de revisión continua, debido a que se necesita menos stock de seguridad en relación con una revisión periódica y las piezas de las grúas tienen costos elevados. (Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano, 2009).

Para cada SKU se calculó el EOQ (cantidad económica de pedido) con la información obtenida del departamento de compras acerca del costo de pedir, y los costos de las piezas. La demanda fue calculada de acuerdo con la frecuencia de los mantenimientos. Se dejó establecido el punto de reorden y la cantidad que deberían pedir cuando el inventario llegue al punto de reorden.

Adicionalmente se creó una página web, como se muestra en la figura 2.17, que permite tener la visibilidad del stock que hay en bodega por las personas que tengan acceso a la

plataforma. Cuando sea necesario reabastecer una pieza, la página generará una notificación de que ha llegado al punto de reorden y mostrará la cantidad que debe pedir.



Figura 2.17 Plataforma del sistema de inventario
Ramos y Villavicencio, 2019.
Elaboración propia

2.5 Plan de control

Para poder asegurar la sostenibilidad de las propuestas de solución en el tiempo, se han establecido controles como se muestra en la tabla 2.18.

No	Solución	Qué voy a revisar	Por qué lo voy a revisar	Qué cantidad	Cuándo lo voy a revisar	Quién lo va a revisar	Cómo puedo revisarlo/controlarlo	Estado
1	Procedimiento de realización del check list diario del estado de la grúa	Que los operarios realicen correctamente el check list diario del estado de la grúa probando cada uno de los campos requeridos en el check list y que conste la firma del operario y del mecánico.	Para asegurar la confiabilidad de los reportes y seguridad personal de los operarios	8 inspecciones por mes (2 para cada grúa) el primer semestre desde su implementación	Al inicio del turno	Jefe de seguridad o jefe de mantenimiento	Inspecciones aleatorias, en caso de ser necesario capacitar a nuevos operarios en la realización del mismo y manteniendo una copia del procedimiento de realización del check list en cada grúa.	IMPLEMENTADO
		Tarjetas TPM levantadas por los operarios luego de realizar el check list de acuerdo a la prioridad establecida.	Reducir lo mantenimientos correctivos de las gruas debido a tarjetas TPM pasadas por alto	Todas las tarjetas levantadas desde la última revisión	Mensual	Jefe de mantenimiento lo llevará a cabo y se presentará a Gerencia	Revisando una vez al mes en la reunión de presentación de resultados de cada área el indicador: número de tarjetas TPM finalizadas en el mes/ número total de tarjetas TPM levantadas en el mes y Lead time promedio de reparación de fallas reportadas en las tarjetas TPM por prioridad	
2	Programa de mantenimiento preventivo	Que los mantenimientos preventivos pertenecientes al motor en la grúa TEREX Y FANTUZZI se realicen en la frecuencia establecida en el programa	Reducir los mantenimientos correctivos de las gruas debido a daños por no realizar el mantenimiento a tiempo.	Que los 50 mantenimientos del motor se realizaran con las frecuencias establecidas	Semestralmente	Jefe de mantenimiento lo llevará a cabo y se presentará a Gerencia	*Revisando el indicador en las reuniones con gerencia de: (mantenimientos realizados en el semestre)/(mantenimientos que debieron realizarse) *Usar el programa en macros de excel que muestra recordatorios de los mantenimientos que deben realizarse y los que están pendientes al jefe de mantenimiento.	PROTOTIPADO
		Que los mantenimientos preventivos pertenecientes al sistema de transmisión se realicen con la frecuencia establecida en el programa		Que los 3 mantenimientos del sistema de transmisión se realizaran con la frecuencia establecida				
		Que los mantenimientos preventivos pertenecientes al sistema de frenos se realicen en la frecuencia establecida en el programa		Que los 10 mantenimientos correspondientes a frenos se realizaran en su frecuencia establecida				
3	Sistema de inventario	Que las partes pertenecientes a FANTUZZI se encuentren en stock respetando el mínimo de piezas establecido	Asegurarse de que las partes necesarias para los mantenimientos programados del motor estén a tiempo.	Que las 43 partes pertenecientes al motor se encuentren como mínimo en su punto de reorden	Trimestral	Departamento de bodega y presentación a gerencia	*Inspecciones aleatorias para comparar si el stock de la bodega de mecánica es el adecuado por el jefe de bodega. *Utilizar la página web prototipada para recibir los avisos de la frecuencia y cantidad de reposición. *Presentación a gerencia del indicador: (Número de partes que cumplen la política de inventario)/(Número total de partes)	PROTOTIPADO
		Que las partes pertenecientes al sistema de transmisión de la grúa TEREX se encuentren en stock respetando el mínimo de piezas establecido	Asegurarse de que las partes necesarias para los mantenimientos programados del sistema de transmisión estén a tiempo.	Que las 3 partes pertenecientes al sistema de transmisión se encuentren como mínimo en su punto de reorden				
		Que las partes pertenecientes al motor de las gruas TEREX y sistema de frenos de la grúa FANTUZZI se encuentren en stock respetando el mínimo de piezas establecido	Asegurarse de que las partes necesarias para los mantenimientos programados del sistema de frenos estén a tiempo.	Que las 10 partes pertenecientes al sistema de frenos se encuentren como mínimo en su punto de reorden				

Tabla 2.18 : plan de control de soluciones propuestas

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Simulación

Mediante una simulación en el software FlexSim (figura 3.1) se obtuvo los resultados de la disponibilidad una vez implementadas las soluciones propuestas.

Para ello, se calculó la media entre fallas y la media del tiempo de reparación de fallas de las grúas bajo análisis en su situación original con los datos proporcionados por el ingeniero de mantenimiento. Por medio de una simulación manual en Excel de los datos de paradas debido a temas que se resolverán con el mantenimiento preventivo (fallas por falta de mantenimiento a tiempo), el checklist (fallas ocurridas por omisión de los reportes del checklist) y el sistema de inventario (espera por piezas de repuestos); se calculó la media entre falla con las soluciones propuestas, mientras que la media del tiempo de reparación de la situación con mejoras implementadas se calculó estableciendo tiempos promedio de reparación de los mantenimientos preventivos.

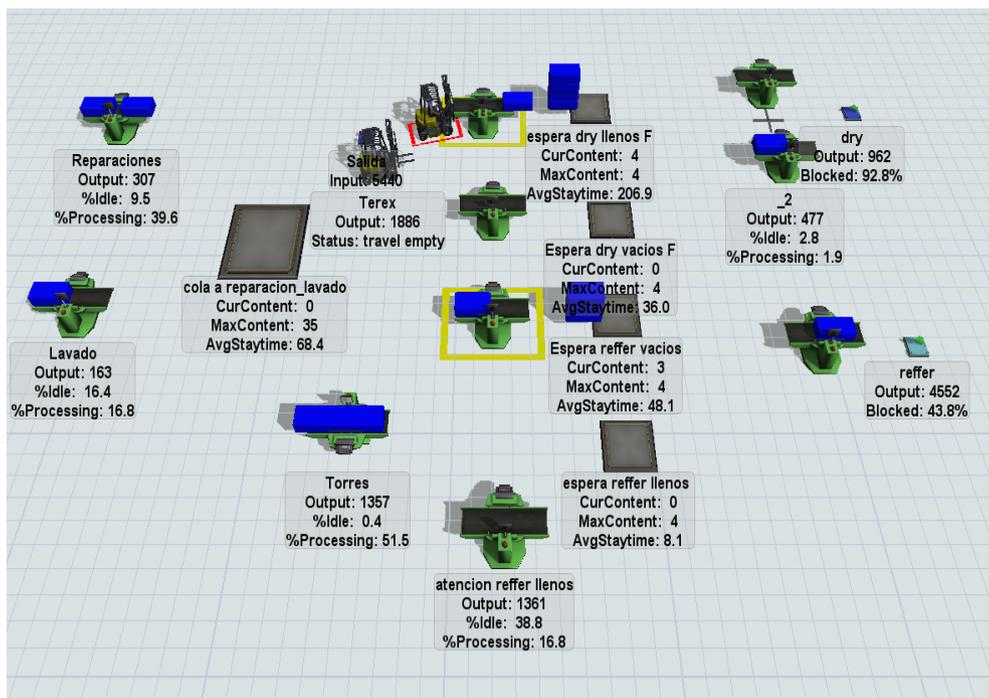


Figura 3.1 Simulación de mejoras en el programa FlexSim

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.2.

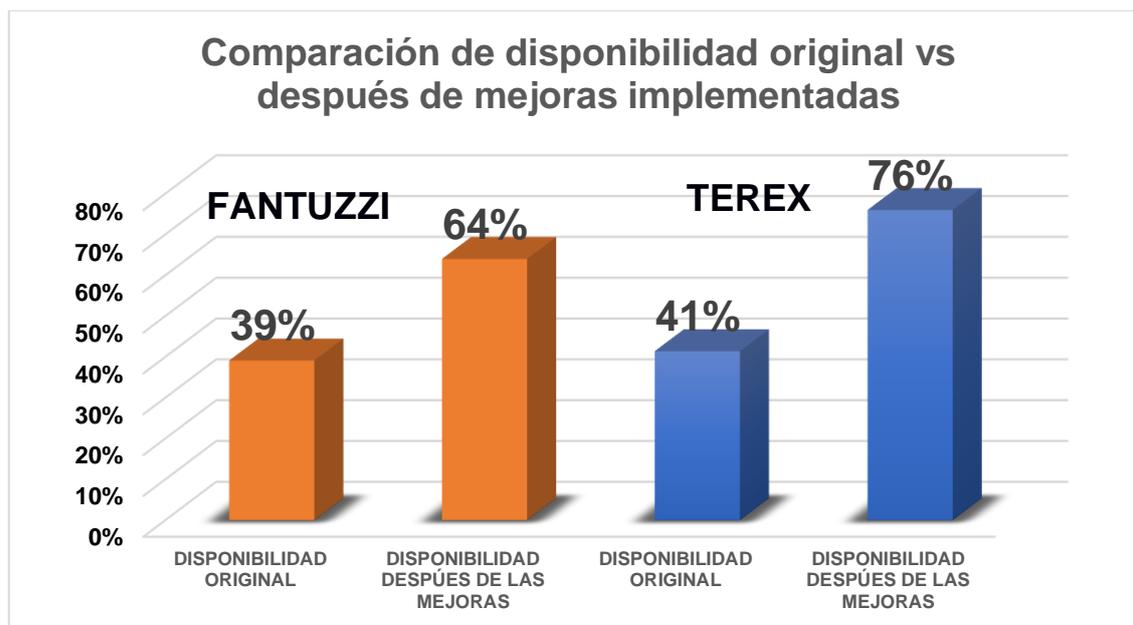


Figura 3.2 Comparación de disponibilidad original vs disponibilidad después de mejoras

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

La disponibilidad de la grúa Fantuzzi después de implementar las mejoras subió al 64%, es decir que incrementó un 25% con respecto a la situación original, mientras que la disponibilidad de la grúa Terex subió al 76%, incrementando en un 35% su disponibilidad. Esto se traduce en 3.75 horas adicionales en el día para la grúa Fantuzzi y 3.85 horas adicionales para la grúa Terex, juntas representan mensualmente un aumento de 228 horas de operatividad de grúas.

Actualmente la empresa alquila una grúa a un costo de \$30/ hora, alquilándola 280 horas mensuales.

En la tabla 3.1 se muestra la información necesaria para realizar el análisis de costo de las soluciones efectuadas.

Tabla 3.1 Información para el análisis de costos

Incremento de horas/día FANTUZZI	3,75
Incremento de horas/ día TEREX	3,85
Ingreso por hora disponible de grúa	\$31,64
Costo de grúa por hora	\$27,43

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

En la tabla 3.2 se muestran las ganancias anuales que se obtendrían al implementar las soluciones propuestas. El único costo adicional que generan las propuestas de solución es el costo de inventario de las piezas.

Tabla 3.2 Desglose de ingresos y costos para obtener la ganancia anual

ESPECIFICACIÓN	COSTO
Ahorro debido a disminución de horas de alquiler de grúa	\$ 18.720,00
Ingresos por aumento de disponibilidad	\$ 87.769,36
Costo de operación de máquina	\$ -76.090,82
Costo de mantenimiento de inventario adicional	\$ -9.544,00
TOTAL	\$ 20.854,54

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3.2, anualmente se obtiene una ganancia aproximada de \$21.000.

Finalmente, el aumento de disponibilidad en ambas grúas representa un aumento del 14.77% en la disponibilidad promedio general, es decir que la disponibilidad promedio general sería del 67.67% (figura 3.3).

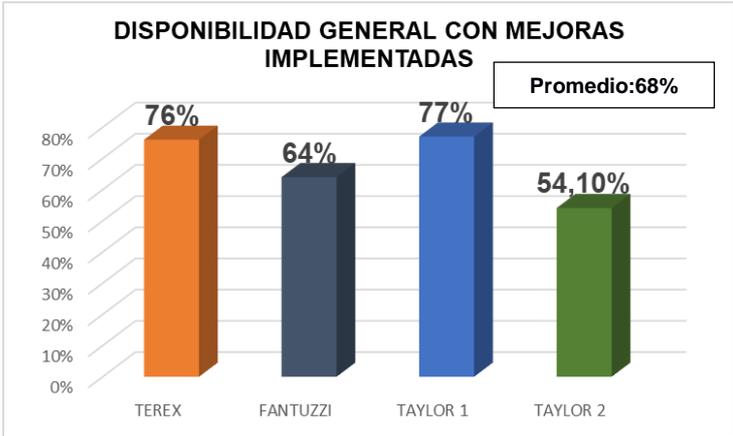


Figura 3.3 Disponibilidad general con mejoras implementadas

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

3.2 Análisis de costo de reemplazo de grúa FANTUZZI

Para la realización del flujo de caja se utilizó los datos proporcionados por la empresa, mostrados en las siguientes tablas 3.3, 3.4, 3.5:

En la tabla 3.3 se muestra una comparación del promedio de horas de trabajo mensuales de la grúa actual y la grúa nueva, esto permitirá calcular todo lo relacionado con costos variables, por ejemplo los costos que incurre en una hora de operación de la grúa como en combustible y mantenimientos.

Tabla 3.3 Promedio de horas de trabajo mensuales de las grúas

Promedio de hora de trabajo mensuales	
Fantuzzi	Nueva
262,4	660

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Por medio de los datos del departamento de compra se obtuvo el costo de mantenimiento de la grúa. En las tablas 3.4 y 3.5 se obtiene la información de costos e ingresos, necesarios para realizar el flujo de caja.

Tabla 3.4 Información general de costos e ingresos

INFORMACIÓN GENERAL	
Costo de alquiler de grúa por hora	\$ 30,00
Ingresos por hora máquina	\$ 31,64
Venta de grúa FANTUZZI	\$ 54.735,82

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Tabla 3.5 Información de costo de hora máquina y mantenimiento

GRÚA FANTUZZI		GRÚA NUEVA	
Costo hora máquina	\$ 31,30	Costo hora máquina	\$ 30,80
Costo de mantenimiento anual	\$ 36.075,90	Costo de mantenimiento anual	\$ 55.961,73

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

En la tabla 3.6 se muestra el flujo de caja. (Chain, 2011)

Tabla 3.6 Flujo de caja a 5 años

	0	1	2	3	4	5
Costos operación de grúa FANTUZZI		\$ 98.571,61	\$ 98.571,61	\$ 98.571,61	\$ 98.571,61	\$ 98.571,61
Costos mantenimiento grúa Fantuzzi		\$ 36.075,90	\$ 36.075,90	\$ 36.075,90	\$ 36.075,90	\$ 36.075,90
Costos operación grúa nueva		\$ -243.963,72	\$ -243.963,72	\$ -243.963,72	\$ -243.963,72	\$ -243.963,72
Costos mantenimiento grúa nueva		\$ -55.961,73	\$ -55.961,73	\$ -55.961,73	\$ -55.961,73	\$ -55.961,73
Ingresos por disponibilidad FANTUZZI		\$ -99.616,38	\$ -99.616,38	\$ -99.616,38	\$ -99.616,38	\$ -99.616,38
Ingresos por disponibilidad grúa nueva		\$ 250.559,50	\$ 250.559,50	\$ 250.559,50	\$ 250.559,50	\$ 250.559,50
Ahorro de alquiler de grúa		\$ 100.800,00	\$ 100.800,00	\$ 100.800,00	\$ 100.800,00	\$ 100.800,00
Venta de grúa FANTUZZI	\$ 54.000,00					
Depreciación equipo nuevo		\$ -27.915,00	\$ -27.915,00	\$ -27.915,00	\$ -27.915,00	\$ -27.915,00
Valor en libro						\$ -139.575,00
Utilidad antes de impuesto	\$ 54.000,00	\$ 58.550,17	\$ 58.550,17	\$ 58.550,17	\$ 58.550,17	\$ -81.024,83
Impuesto	\$ -13.500,00	\$ -14.637,54	\$ -14.637,54	\$ -14.637,54	\$ -14.637,54	\$ 20.256,21
Utilidad neta	\$ 40.500,00	\$ 43.912,63	\$ 43.912,63	\$ 43.912,63	\$ 43.912,63	\$ -60.768,62
Depreciación equipo nuevo		\$ 27.915,00	\$ 27.915,00	\$ 27.915,00	\$ 27.915,00	\$ 27.915,00
Valor libro						\$ 139.575,00
Inversión	\$ -279.150,00					
Valor de desecho						\$ 115.625,00
Flujo	\$ -238.650,00	\$ 71.827,63	\$ 71.827,63	\$ 71.827,63	\$ 71.827,63	\$ 222.346,38
VAN	\$ 76.961,77					
TIR	26%					

Ramos y Villavicencio, 2019.

Elaboración propia

Se seleccionó reemplazar la grúa FANTUZZI, por estar totalmente depreciada y por los elevados costos que representa mantenerla actualmente para la empresa.

A través del análisis de reemplazo de la grúa FANTUZZI, se puede notar que debido a que el VAN es positivo, conviene realizar la compra de una grúa nueva.

Como se muestra en la figura 3.4 poco después de los 4 años la inversión es recuperada.

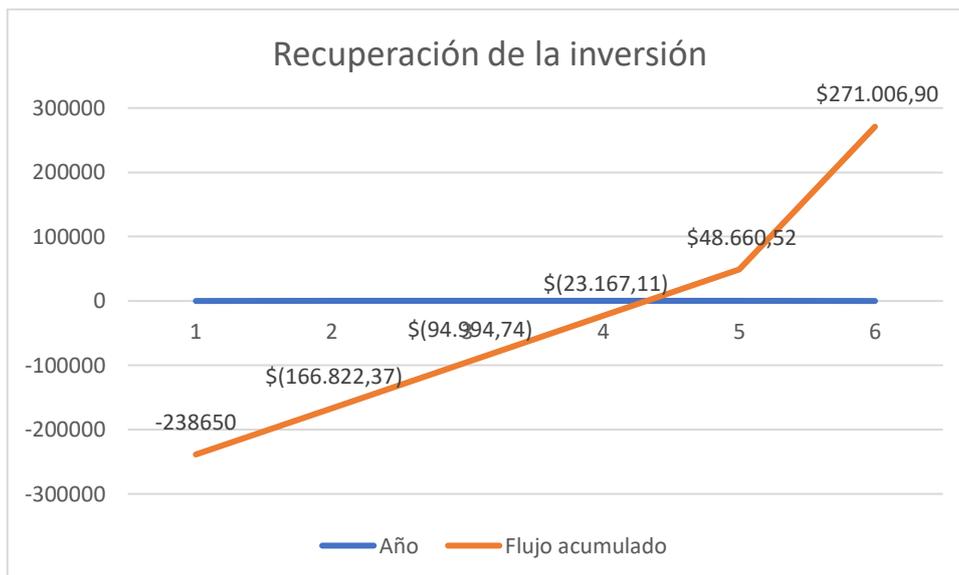


Figura 3.4 Recuperación de la inversión
 Ramos y Villavicencio, 2019.
 Elaboración propia

Si se decidiera reemplazar la grúa Fantuzzi por una grúa nueva, la nueva grúa tendría una disponibilidad promedio del 90% esto aumentaría la disponibilidad general promedio en 21%, obteniendo una disponibilidad general promedio de 74% (figura 3.5).

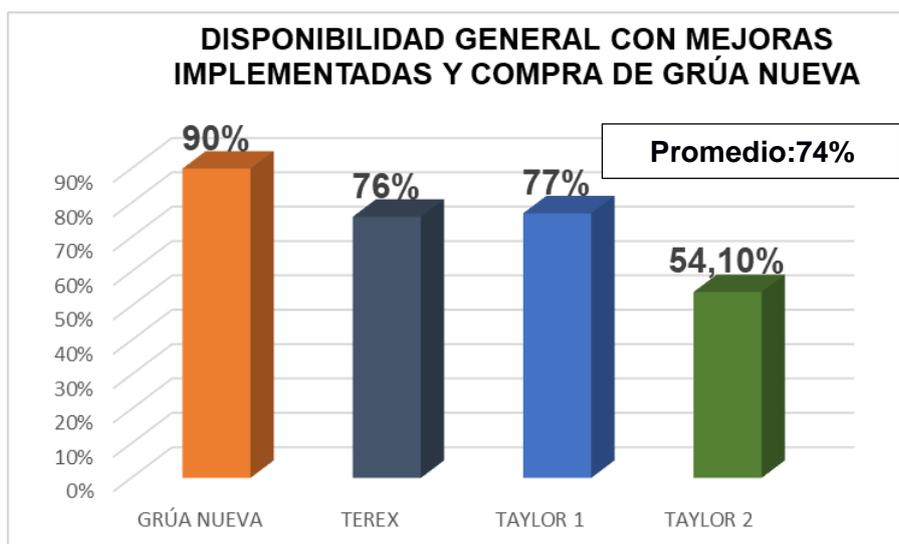


Figura 3.5 Disponibilidad general con mejoras implementadas y compra de grúa nueva
 Ramos y Villavicencio, 2019.
 Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Por medio de entrevistas y encuestas se logró conocer las necesidades del cliente; después de transformar sus necesidades en variables críticas de calidad, se determinó que la disponibilidad de grúas es la variable más representativa para la empresa.
- Se enfocó el problema en las grúas TEREX y FANTUZZI debido a que juntas acumulaban el 57% del total del tiempo de fallas, siendo críticas las fallas en el motor de ambas grúas, fallas en el sistema de transmisión de la grúa TEREX y fallas del sistema de frenos en la grúa FANTUZZI. A través de un análisis de causas se obtuvo como factores de mayor impacto en la baja disponibilidad de las grúas, los extensos tiempos de obtención de repuestos y el no tomar acciones respecto a los reportes del checklist diario del estado de la grúa.
- Después de encontrar las causas raíz, se propusieron mejoras, las cuales fueron priorizadas con los involucrados del proceso, quedando como soluciones a implementar: un procedimiento de realización del checklist diario del estado de la grúa, un programa de mantenimiento preventivo, un sistema de inventario de partes de repuesto recurrentes y el análisis de compra de una nueva grúa.
- Mediante una simulación se demostró el aumento de la disponibilidad de las grúas con las propuestas de solución y se estableció un plan de control para garantizar la sostenibilidad de las soluciones en el tiempo en caso de que estas se implementen en la empresa.
- El programa de mantenimiento preventivo reducirá los mantenimientos correctivos ya que se hará el mantenimiento adecuado a las piezas que consten en el programa y permitirá detectar futuras fallas de aquellas piezas que no constan en el programa de mantenimiento de forma temprana mientras se realizan los mantenimientos del programa.
- El sistema de inventario permitirá que se cumpla con la programación establecida de mantenimiento preventivo al tiempo debido, reduciendo el

tiempo de rehabilitación de grúa correspondiente al tiempo de obtención de partes.

- El procedimiento de realización del checklist diario del estado de la grúa, aumentará la confiabilidad de la información proporcionada por los operarios de las grúas, ya que de estas derivan las tarjetas TPM para mantenimiento, esto ayudará a que se tomen acciones con respecto a las anomalías reportadas, así como también, permitirá una mejor planificación de mantenimientos preventivos, disminuir los mantenimientos correctivos con paradas largas de las grúas y ayudará a prevenir accidentes que bajan la disponibilidad de la maquinaria y ponen en riesgo la vida y salud de los operarios.
- El programa de mantenimiento preventivo, el procedimiento de realización del checklist diario del estado de la grúa y la política de inventario; afectan directamente a la media entre fallas y tiempo de reparación de las grúas, como se mencionó anteriormente, efectuar estas mejoras aumenta en un 14.77% la disponibilidad general, sin embargo, el objetivo general planteado al inicio del proyecto por gerencia fue incrementarla en al menos un 20%, por lo que en este proyecto no se cumplió ese objetivo, esto es debido a que solo se trabajó en dos grúas que llegaban al 57% del total del tiempo de fallas por limitaciones de tiempo, si se trabajara con la grúa Taylor 2 con la cual se alcanza el 72% del tiempo de fallas que afectan a la disponibilidad, esta meta podría cumplirse. Es importante mencionar que aunque no se cumplió el incremento de la disponibilidad del objetivo general, los objetivos específicos de incremento de disponibilidad para las grúas bajo análisis cumplieron la meta propuesta, siendo el incremento propuesto de la grúa TEREX del 15% y obteniendo un incremento después de las mejoras del 35%, mientras que la grúa FANTUZZI tenía planteado como objetivo incrementar en un 17% su disponibilidad, y el incremento de la disponibilidad después de prototipar las mejoras fue del 25%.
- Al implementar estas mejoras, se obtiene una ganancia aproximada de \$21.000 anual.
- Si se implementaran las mejoras en la grúa TEREX y, la grúa FANTUZZI es reemplazada por una grúa nueva, la disponibilidad general alcanzaría el 74%, es decir que incrementaría un 21% con respecto a la situación original, con esta alternativa se lograría cumplir el objetivo general del proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Se debe estandarizar el tiempo de solución de fallas de las grúas reportadas en las tarjetas TPM de acuerdo a su prioridad, y hacer una planificación para que las partes involucradas puedan cumplir con estos tiempos. En caso de no poder cumplirse con esos tiempos, se debe presentar un informe explicando la situación.
- Se debe trabajar en la comunicación efectiva entre operarios, mecánicos, departamento de compras y bodega, esto permitirá mejorar la productividad de los procesos.
- Aumentar la trazabilidad del proceso de compras, específicamente su lead time de entrega de repuestos.
- Realizar una aplicación del checklist diario, esto facilitará el guardado de la información, permitirá que el área de seguridad industrial, mecánica y operaciones puedan acceder a la información sin necesidad de ocupar papeles y ayudará a que no se copie la revisión del estado de la grúa del turno anterior.

BIBLIOGRAFÍA

- Chain, N. S. (2011). Proyectos de reemplazo en empresas en marcha. En N. S. Chain, *Proyectos de inversión, formulación y evaluación* (págs. 441-447). Santiago: Pearson.
- Dunn, T. (2015). OEE Effectiveness. En T. Dunn, *Manufacturing Flexible Packaging* (págs. 77-85). William Andrew.
- Encyclopedia World Heritage. (s.f.). Maintenance, repair and operations. *World Ebook Fair*.
- Encyclopedia World Heritage. (s.f.). Mean Time Between Failures. *World Ebook Fair*.
- Levinson, M. (27 de Enero de 2008). The Box: How the Shipping container made the world smaller and the world economy bigger. Princeton University Press.
- Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano. (2009). En *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (págs. 544-574). México: Mc Graw Hill.
- Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma*. Milwaukee, Wisconsin: ISBN .
- Sunil Chopra, Peter Meindl. (2008). *Administración de la cadena de suministro* . México: PEARSON EDUCATION.
- TEREX. (2012). *Manual de operación y mantenimiento de grúas*. Italia.
- Uday Kumar, Diego Galar, Aditya Parida and Christer Stenroos. (2013). Maintenance performance metrics: a state of the art review. *Journal of quality in maintenance engineering*, 46.
- Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman. (2000). Variability Basics. En *FACTORY PHYSICS* (pág. 255). Boston: McGraw-Hill .

APÉNDICES

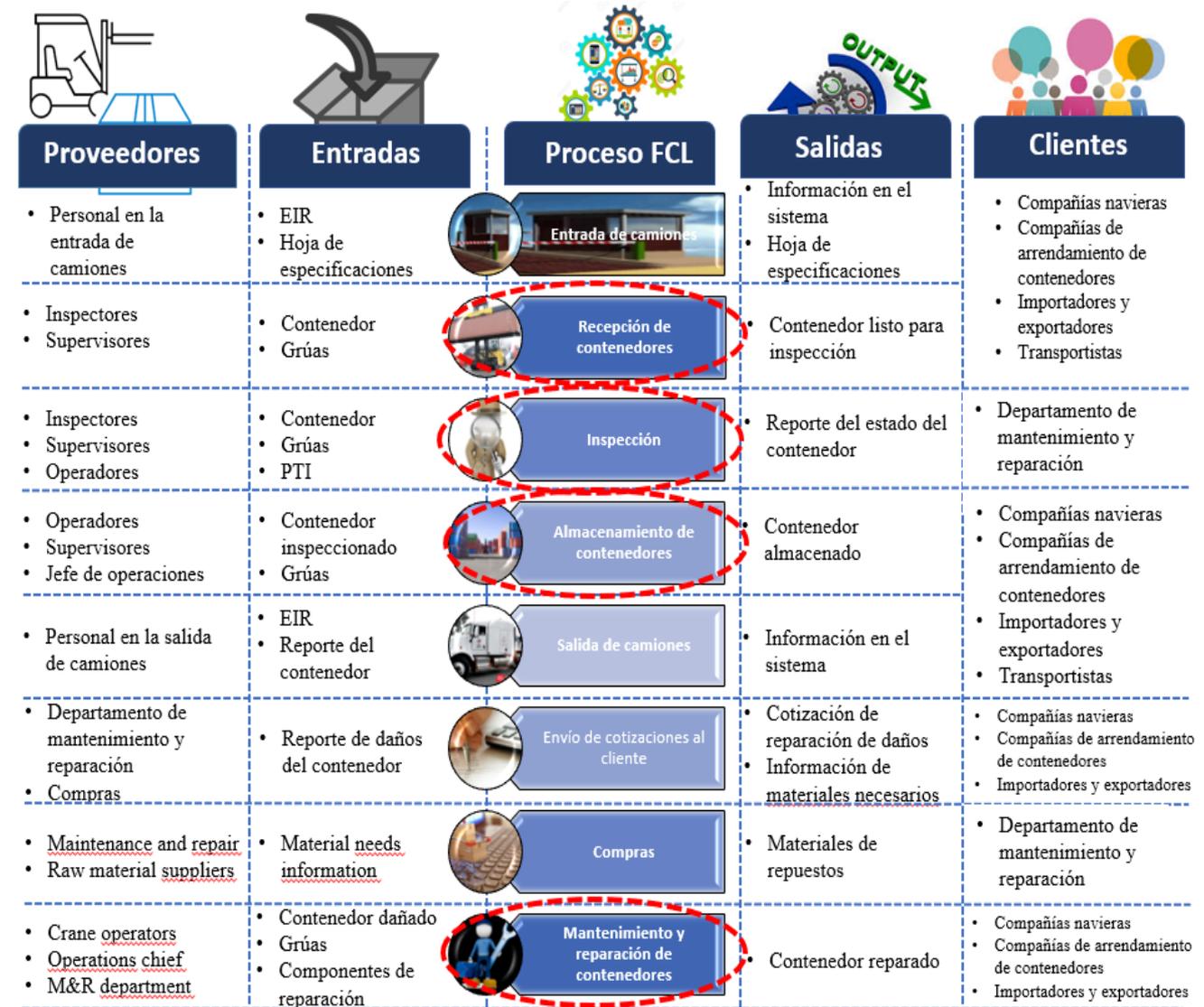
APÉNDICE A

Diagrama SIPOC de la empresa proceso LCL



APÉNDICE B

Diagrama SIPOC de la empresa proceso FCL



APÉNDICE C

Calificaciones de Impacto-Esfuerzo de las propuestas de mejora

	Propuesta	IMPACTO (1-5)						ESFUERZO		
		Jefe de mejora continua	Supervisor general	COO	Jefe de mntto	TOTAL	Costo (5)	Rapidez (6)	Esfuerzo ponderado	
1	Rediseño del sistema de compras EPIC (Envío de recordatorios para disminuir el tiempo de confirmación, configuración del flujo del proceso, indicadores)	1	5	2	4	3	1	5	3,2	
2	Estudio de tiempo y movimientos para mejorar la planificación de la operación de grúas	3	1	3	2	2,25	1	3	2,1	
3	Elaboración de procedimiento/instructivo del check list y reportes de tarjetas TPM	2	5	5	5	4,25	1	1	1,0	
4	Rediseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las grúas	4	3	4	5	4	1	3	2,1	
5	Diseño de un plan de mantenimiento predictivo	3	2	3	5	3,25	3	3	3,0	
6	Estandarización de los tiempos de reparación de grúas según la prioridad establecida	3	5	3	5	4	1	5	3,2	
7	Aumento de base de datos de proveedores de repuestos	2	4	4	5	3,75	1	5	3,2	
8	Análisis de adquisición de una grúa nueva	5	5	5	5	5	5	5	5,0	
9	Gestión de inventario de piezas de repuesto	3	4	3	2	3	1	2	1,5	

