UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento utilizando el
RCM en el proceso de producción y extendido de asfalto

TESIS

Para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Cormilluni Leandro, Jaqueline ([0000-0001-6224-8907](tel:0000-0001-6224-8907))

ASESORES

Castro Rangel, Percy ([0000-0001-8512-8625](tel:0000-0001-8512-8625))

Arrieta Gallardo, Roger Félix ([0000-0002-5133-0902](tel:0000-0002-5133-0902))

León de los Ríos, Juan([0000-0003-1483-3372](tel:0000-0003-1483-3372))

Lima, 31 de Enero 2019

DEDICATORIA

A mis padres y a mi novio, que son la base y motivo de todo lo bueno que hago.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por darme vida y salud.

Agradezco también a mi novio por su sacrificio y esfuerzo por ayudarme a llegar al punto en el que hoy me encuentro.

Mi agradecimiento también va dirigido a mis asesores por compartir sus conocimientos y haberme guiado durante el desarrollo de la tesis.

Y finalmente, agradezco a mis padres por motivarme a alcanzar mis objetivos.

RESUMEN

El presente proyecto profesional para optar el título de Ingeniero Industrial, se va a diseñar una propuesta de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento utilizando el RCM en el proceso de producción y extendido de asfalto. la hipótesis destaca tres objetivos específicos: En primer lugar, tenemos que incrementar el OEE en 2%. En segundo lugar, incrementar el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 30% y finalmente tenemos que, reducir el tiempo medio por reparación (MTTR) en un 40%. El proyecto profesional consta de cinco capítulos. El primer capítulo, refiere al marco teórico como base para el desarrollo del presente trabajo profesional, donde se aborda temas como el mantenimiento, principales metodologías de mantenimiento, herramientas para el desarrollo de la metodología y casos de éxito en la aplicación del RCM, haciendo énfasis en el RCM como estrategia de mantenimiento. El segundo capítulo, explica la situación actual y la problemática del proceso de producción y extendido de asfalto. Además, se establece el objetivo principal y los objetivos específicos del presente proyecto profesional. En el tercer capítulo, se desarrolla la metodología del RCM respondiendo las 7 preguntas agrupados en tres subgrupos diferentes para hacer el proceso más fácil, en el grupo uno se realizó la jerarquización de equipos mediante el cálculo de confiabilidad de los equipos de producción. A continuación, en el grupo dos se ejecutó el AMEF, donde se establecieron las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos presentes en el equipo crítico, paralelamente utilizando el análisis NPR se logró jerarquizar los modos de fallo. En el tercer grupo y con la aplicación lógica del árbol lógico de decisión se determinó el tipo de mantenimiento y la frecuencia de la tarea. En el cuarto capítulo se realizó la validación del proyecto mediante el software arena. En el quinto y último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó con el presente proyecto de investigación.

Palabras clave: Gestión de mantenimiento, criticidad, confiabilidad, disponibilidad, modos de falla, RCM, OEE, MTBF, MTTR, AMEF, NPR.

ABSTRACT

The present professional project to choose the title of Industrial Engineer, is going to design a proposal for improvement in the maintenance management system using the RCM in the process of production and spread of asphalt. The hypothesis highlights three specific objectives: First, the OEE must be increased by 2%. Second, increase the mean time between failures (MTBF) by 30% and finally we have to reduce the average time to repair (MTTR) by 40%. The professional project consists of five chapters. The first chapter refers to the theoretical framework as the basis for the development of this professional work, which addresses issues such as maintenance, main maintenance methodologies, tools for the development of the methodology and success cases in the application of the RCM, emphasizing in the RCM as a maintenance strategy. The second chapter explains the current situation and the problem of the process of production and spread of asphalt. In addition, the main objective and the specific objectives of this professional project are established. In the third chapter, the RCM methodology is developed by answering the 7 questions grouped into three different subgroups to make the process easier, in group one the equipment hierarchization was performed by calculating the reliability of the production equipment. Then, in group two, the FMEA was executed, where the functions, functional faults, failure modes and effects present in the critical equipment were established. In parallel, using the NPR analysis, the failure modes were hierarchized. In the third group and with the logical application of the logical decision tree, the type of maintenance and the frequency of the task were determined. In the fourth chapter the validation of the project was carried out using sand software. In the fifth and last chapter, the conclusions and recommendations that were reached with the present research project are presented.

Key words: Maintenance management, criticality, reliability, availability, failure mode, RCM, OEE, MTBF, MTTR, AMEF, NPR.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO	17
Estado del Arte	17
El Sector Construcción	17
El sector construcción en entidades públicas	24
El sector construcción en entidades privadas	28
Análisis de la Industria	31
Análisis externo del contexto de la empresa	32
Análisis de competitividad de la industria.....	35
Características de la industria	40
Estructura de la industria	41
Responsabilidad Social de la industria	42
Gestión del Mantenimiento	43
Historia del mantenimiento	44
Sistema Kantiano de mantenimiento	48
Estrategias de mantenimiento	55
Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	60
Mantenimiento productivo total (TPM)	75
Indicadores de Gestión de Mantenimiento	77
Enfoque de Mejora Continua.....	78
Concepto de Mejora Continua.....	78
Herramientas de Mejora Continua.....	80
Casos de Éxito	88
Empresa Petróleos (Venezuela).....	88
Empresa Amazon (USA).....	90
Empresa CODELCO (Perú)	92
CAPÍTULO II – ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 94	94
Descripción de la empresa.....	94
Visión	96
Misión.....	97
Análisis FODA	97

Estructura Organizacional	99
Cadena de Valor	101
Mapa de Procesos	102
SIPOC.....	102
Flujograma.....	108
Problemática de la empresa	110
OEE	111
Mantenimiento.....	119
Análisis de las causas:	124
Descripción de las principales causas.....	130
Impacto Económico:.....	132
Objetivos de la investigación:.....	135
Árbol de Objetivos	135
Objetivo Principal.....	138
Objetivos Específicos	138
CAPITULO III – PROPUESTA DE MEJORA	139
Jerarquización de criterios de selección	139
Evaluación y Selección de la metodología	139
Vinculación de la causa con la solución.....	141
Diseño de la propuesta.....	142
Proceso de implementación.....	142
Cálculo de confiabilidad de los equipos de producción:	143
Elaboración del AMEF	149
Análisis de criticidad	155
Herramienta de decisión del RCM	160
Estandarización.....	184
Procedimientos:	184
Formatos:.....	192
Instructivos	198
Cronograma de ejecución de RCM	203
Presupuesto para la ejecución del proyecto.....	204
Análisis de Beneficio RCM.....	208
CAPITULO IV – VALIDACIÓN DEL PROYECTO	217
Simulación del proceso.....	217

Validación de la propuesta	217
Propuesta de Simulación	217
Análisis de variables	221
Simulación en el software arena	225
Comparación de escenarios	229
Cálculo de los Indicadores de gestión mejorado	230
CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	239
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	242
ANEXOS	247

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Principales Indicadores del Sector Construcción 2010-2016	18
Tabla N° 2: Participación del sector construcción en el PBI Perú 2007-2016.....	19
Tabla N° 3: Inversión acumulada de proyectos en infraestructura de transporte, según fuente de financiamiento 1992 - 2014	27
Tabla N° 4: Inversión Privada Perú (Var % real anual)	28
Tabla N° 5: Indicadores del Mercado Inmobiliario.....	29
Tabla N° 6: Créditos totales del fondo MiVivienda, según programa 2010-2014 (Miles de nuevos soles).....	31
Tabla N° 7: Principales Indicadores del Sector Construcción 2010-2016	32
Tabla N° 8: Análisis PESTEL de la Industria	32
Tabla N° 9: Factores de las fuerzas de Porter.....	35
Tabla N° 10: Participación del sector construcción en el PBI Perú 2007-2016.....	41
Tabla N° 11: Cuadro comparativo de tácticas de mantenimiento	52
Tabla N° 12 Beneficios de una estrategia de mantenimiento predictivo.....	58
Tabla N° 13: Categoría del análisis de criticidad	69
Tabla N° 14: Guía y criterios de evaluación para el análisis de criticidad.....	71
Tabla N° 15: Diagrama Analítico del Proceso	84
Tabla N° 16: Matriz de Valor Agregado	84
Tabla N° 17: Esquema de Análisis de Pareto	86
Tabla N° 18: Principales resultados Caso Petróleos.....	89
Tabla N° 19: Posición competitiva de la empresa 2013-2015	96
Tabla N° 20: Matriz FODA	98
Tabla N° 21: SIPOC de mantenimiento	103
Tabla N° 22: Disponibilidad de Equipos 2017	111
Tabla N° 23: Horas de Paradas por tipo	112
Tabla N° 24: Avance mensual de producción en m3 de asfalto.....	116
Tabla N° 25: Lista de equipos del proceso de producción y extendido de asfalto	121
Tabla N° 26: Tabla de jerarquización según importancia	125
Tabla N° 27: Resultados de evaluación de causas según tabla jerarquización y nivel de impacto	126

Tabla N° 28: Criterios de evaluación y puntuación.....	128
Tabla N° 29: Evaluación y puntuación de causas principales.....	128
Tabla N° 30: Técnica de los 5 Por qué?	131
Tabla N° 31: Impacto económico por pago de penalidad por retraso en la entrega.....	132
Tabla N° 32: Pérdida por no disponibilidad de los equipos de producción 2017	134
Tabla N° 33: Pérdidas Totales	134
Tabla N° 34: Matriz de Ponderación de Factores.....	140
Tabla N° 35: Rango de calificación.....	140
Tabla N° 36: Ranking de factores	140
Tabla N° 37: Ponderación de causas principales vs metodología	141
Tabla N° 38: Lista de equipos	143
Tabla N° 39: Cálculos de las variables ETA de los equipos	145
Tabla N° 40: Disponibilidad de los equipos en 30 días.....	146
Tabla N° 41: Gravedad de fallas	149
Tabla N° 42: Ocurrencia y detección de fallas	150
Tabla N° 43: AMEF Sistema Eléctrico	151
Tabla N° 44: AMEF Sistema Hidráulico.....	152
Tabla N° 45: AMEF Sistema de Motor	153
Tabla N° 46: AMEF Chasis y recepción de MAC	154
Tabla N° 47: Resultado de NPR según los cuadros AMEF	155
Tabla N° 48: Ponderación de criterios del análisis de criticidad.....	156
Tabla N° 49: Escala de referencias.....	157
Tabla N° 50: Cuadro de criticidad.....	158
Tabla N° 51: Cantidades de las Falla	159
Tabla N° 52: Hoja de información -Sistema Eléctrico	161
Tabla N° 53: Hoja de información -Sistema hidráulico	162
Tabla N° 54: Hoja de información -Sistema motor	163
Tabla N° 55: Hoja de información -Chasis y recepción de MAC	164
Tabla N° 56: Propuesta de Hoja de decisión	166
Tabla N° 57: Tabla de funciones de la hoja de decisión del RCM.....	168
Tabla N° 58: Cálculo del intervalo de mantenimiento sistema Motor	170
Tabla N° 59: Intervalo de mantenimiento tipo de falla 1A 1	172
Tabla N° 60: Cálculo de Confiabilidad Sistema Hidráulico	173
Tabla N° 61: Cálculo de Confiabilidad Sistema Eléctrico	175

Tabla N° 62: Cálculo de Confiabilidad Sistema Chasis y Recepción de MAC	177
Tabla N° 63: Consolidado de intervalos de mantenimiento por sistema.....	179
Tabla N° 64: Consolidado de intervalos de mantenimiento por tipo de falla	179
Tabla N° 65: Hoja de decisión de los sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex	181
Tabla N° 66: Hoja de decisión de los sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex	182
Tabla N° 67: Plan de Mantenimiento propuesto – Planta de Asfalto Terex	183
Tabla N° 68: Plan de mantenimiento de máquina Planta de Asfalto Terex	184
Tabla N° 69: Check list de procedimientos por Sistema.....	185
Tabla N° 70: Plan de mantenimiento.....	195
Tabla N° 71: Hoja de vida de equipo	195
Tabla N° 72: Cronograma de ejecución de proyecto RCM.....	203
Tabla N° 73: Participantes capacitación del proyecto	204
Tabla N° 74: Costo por horas extras mensual	204
Tabla N° 75: Presupuesto de inversión del personal	205
Tabla N° 76: Presupuesto de inversión en equipos	205
Tabla N° 77: Presupuesto de inversión en insumos	205
Tabla N° 78: Presupuesto de inversión varios.....	206
Tabla N° 79: Presupuesto para la implementación del control del proyecto	207
Tabla N° 80: Resumen de presupuesto del proyecto.....	208
Tabla N° 81: Precios del Asfalto	208
Tabla N° 82: Análisis Beneficio RCM.....	209
Tabla N° 83: Escenario optimista.....	211
Tabla N° 84: Escenario conservador	212
Tabla N° 85: Escenario pesimista.....	213
Tabla N° 86: Evaluación de escenarios resumen	216
Tabla N° 87: Muestra de datos para cada variable	219
Tabla N° 88: Data de tiempo entre fallas	226
Tabla N° 89: Tiempo en el Sistema Modelo Actual.....	227
Tabla N° 90: Comparación de Escenarios.....	229
Tabla N° 91: Comparación de Modelos – Método T- Paried.....	229
Tabla N° 92: Datos disponibilidad	231
Tabla N° 93: Tiempos y disponibilidad de equipos	232

Tabla N° 94: OEE mejorado.....	233
Tabla N° 95: Resultado OEE.....	234
Tabla N° 96: Total de horas utilizadas por mes	235
Tabla N° 97: Total de horas de parada programado por mes	235
Tabla N° 98: Fallas mecánicas - eléctricas en horas.	235
Tabla N° 99: N° Fallas mecánicas – eléctricas.....	236
Tabla N° 100: Resultado del MTBF por equipo	236
Tabla N° 101: Resultado del MTTR por sistema	236
Tabla N° 102: Resumen de indicadores de gestión	237

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Formación Bruta de Capital en Obras Públicas y APP 2013 - 2018	25
Figura N° 2: Participación del PBI en Obras Públicas y APP 2013 - 2018	25
Figura N° 3: Venta Local de Cemento 2010 – 2014 (Miles de toneladas).....	30
Figura N° 4: Venta de Barras de Construcción 2010 – 2014 (Miles de toneladas).....	30
Figura N° 5: Análisis de las 5 fuerzas de Porter.....	39
Figura N° 6: Término de Mantenimiento	45
Figura N° 7: Tiempo VS Probabilidad de falla	46
Figura N° 8: Patrón de falla 2da generación	46
Figura N° 9: Historia y Evolución de Mantenimiento.....	48
Figura N° 10: Elementos del Enfoque Sistemático Kantiano	49
Figura N° 11: Enfoque Sistemático Kantiano	49
Figura N° 12: Taxonomía del mantenimiento	56
Figura N° 13: Árbol de decisión de actividad de mantenimiento	74
Figura N° 14: Mejora Continua del Sistema de Gestión de la calidad.....	78
Figura N° 15: Ciclo PHVA.....	79
Figura N° 16: Diagrama de Flujo	80
Figura N° 17: Diagrama SIPOC	81
Figura N° 18: Diagrama de Ishikawa	87
Figura N°19: Organigrama ICCGSA 2016	99
Figura N° 20: Organigrama Gerencia de Equipos ICCGSA 2016.....	100
Figura N° 21: Cadena de Valor de la Empresa -2016	101
Figura N° 22: Mapa de procesos-2016.....	102
Figura N° 23: Flujograma del proceso de mantenimiento general de equipos.....	108
Figura N° 24: Flujograma del proceso de mantenimiento correctivo	109
Figura N° 25: Eficiencia General de los Equipos -2017	110
Figura N°26: Disponibilidad de Equipos 2017	111
Figura N° 27: Rendimiento de equipos 2017	114
Figura N° 28: Avance de producción del año 2017	114
Figura N° 29: Rendimiento actual por tipo de parada.....	116
Figura N° 30: Calidad de mezcla de asfalto 2017	117

Figura N° 31: m3 de asfalto defectuoso	118
Figura N° 32: % de tipo de fallo por m3 de asfalto defectuoso	118
Figura N° 33: MTBF de Línea de Producción y Extendido de Asfalto	120
Figura N° 34: MTTR de Línea de Producción y Extendido de Asfalto	121
Figura N° 35: Cantidad de paradas por equipo de la línea de producción y extendido de Asfalto	122
Figura N° 36: Pareto de la cantidad de paradas de la línea de producción y extendido de Asfalto	123
Figura N° 37: Total de horas de paradas por equipo	123
Figura N° 38: Pareto - Total de horas de paradas por equipo	124
Figura N° 39: Diagrama de Ishikawa	127
Figura N° 40: Diagrama de Pareto	129
Figura N° 41: Árbol de problemas	136
Figura N° 42: Árbol de objetivos	137
Figura N° 43: Proceso de implementación RCM	142
Figura N° 44: MTBF por equipo	144
Figura N° 45: Interpretación de la variable Beta	145
Figura N° 46: Comportamiento de la disponibilidad de los equipos.....	147
Figura N° 47: Disponibilidad de los equipos en el 5to día.....	148
Figura N° 48: Gráfico de criticidad de fallas.....	159
Figura N° 49:Árbol lógico de decisiones de la actividad de mantenimiento	160
Figura N° 50: Gráfica de Confiabilidad Sistema Motor.....	171
Figura N° 51: Gráfica de Confiabilidad Sistema Hidráulico.....	173
Figura N° 52: Gráfico de Confiabilidad Sistema Eléctrico	176
Figura N° 53 Gráfico de Confiabilidad Sistema Chasis y Recepción de MAC	178
Figura N° 54: Procedimiento de mantenimiento cambio de sellos y rodamientos del motor	186
Figura N° 55: Procedimiento de mantenimiento Verificar la existencia de ruidos, vibraciones y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.....	188
Figura N° 56: Procedimiento de mantenimiento Verificar la estabilización de red y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea. ..	190
Figura N° 57: Propuesta de Check list de verificación.....	192
Figura N° 58: Propuesta de lista de trabajo	193

Figura N° 59: Control diario de equipo menor propio	194
Figura N° 60: Informe de equipo diario	196
Figura N° 61: Reporte técnico de campo	197
Figura N° 62: Manual de Instrucciones de Mantenimiento.....	198
Figura N° 63: Manual de máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM CAT AP500E	201
Figura N° 64: Utilidad con RCM Vs Utilidad sin Mejora.....	210
Figura N° 65: Análisis @ RISK - VAN del proyecto	214
Figura N° 66: Análisis @ RISK - TIR del proyecto.....	215
Figura N° 67: Proceso Simulación máquina Planta de Asfalto Terex.....	226
Figura N° 68: Reporte sistema de simulación	226
Figura N° 69: Disminución de horas del proceso de mantenimiento	228
Figura N° 70: % Disminución del proceso de mantenimiento	228
Figura N° 71: Incremento del OEE	234
Figura N° 72: Incremento del MTBF	237
Figura N° 73: Disminución del MTTR	238

INTRODUCCIÓN

Las empresas hoy en día se encuentran frente al reto de tener que mejorar sus estándares de rendimiento en mantenimiento, en el sistema de negocios especialmente utilizando tecnologías de la información e implementando una filosofía o técnica de mantenimiento, esto incluye, entre otras: el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Actualmente las empresas desean tener mayor confiabilidad de los sistemas y el funcionamiento de sus equipos al máximo de su capacidad anticipándose a las fallas.

El presente proyecto de investigación tiene por finalidad realizar una propuesta de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento aplicando la metodología del RCM, en el proceso de producción y extendido de asfalto. La elección del tema se da porque nos encontramos frente al reto de mejorar los estándares de mantenimiento, en el proceso de producción y extendido de asfalto debido a su baja confiabilidad, ya que son equipos de alta criticidad, y la pérdida de sus funciones durante la producción y extendido de asfalto, tendría como consecuencia la detención de los equipos que intervienen en el proceso entre otros problemas.

Por lo tanto, la mejora del plan de mantenimiento mediante el RCM nos permitirá adelantarnos a las fallas, es decir mejorar la confiabilidad de los equipos, esta aplicación se verá reflejado en la gestión del mantenimiento con lo cual también se asegura la rentabilidad de la empresa. Como el RCM es relativamente nuevo, nos enfocaremos en el estudio de la capacidad operacional, los recursos para facilitar y reparar, las decisiones de reemplazo y el establecimiento de programas de mantenimiento basado en el RCM.

CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO

El presente capítulo describe el análisis del sector empresarial donde se encuentra inmersa la empresa en estudio, así como la revisión de la literatura de la historia de la gestión del mantenimiento, su evolución y las buenas prácticas que existen para implementar una metodología de mejora en mantenimiento.

A partir de esta revisión, se detalla la metodología RCM, que será la que se trabajará en un posterior capítulo como propuesta de mejora para solucionar el problema identificado. Finalmente, se revisa las principales herramientas y técnicas de mejora continua que darán soporte a nuestro análisis de la situación actual.

Estado del Arte

El Sector Construcción

Antecedentes del Sector Construcción

La industria de la Construcción es una de las actividades económicas más representativas y dinámicas de la economía de una nación, a lo largo de la historia la construcción en el Perú ha sido un gran movilizador de la economía y un indicador del bienestar y desarrollo económico. El sector construcción como parte del PBI, en los últimos años ha mostrado en promedio 6.1%¹ de participación.; sin embargo, dinamiza simultáneamente otros sectores como manufactura, electricidad, servicios, transporte, telecomunicaciones entre otros, además de ser una gran fuente de trabajo.

El sector construcción ha demostrado gran dinamismo en los últimos diez años, como se muestra en la Tabla N° 1, para el periodo del 2008 al 2016 según información de “Perú: Síntesis Estadística 2016” del Instituto Nacional de Estadística e Ingeniería, el sector por actividad económica ha mantenido su ritmo de crecimiento, en el caso de la producción, exportación y consumo interno, entre otros.

Las características de la actividad de las empresas constructoras son diferentes a las empresas de los demás sectores de la economía nacional basándose principalmente en dos aspectos básicos: (a) movilidad permanente, dado que los centros de producción se dan

¹ Cfr. INEI – Promedio de la información estadística de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

temporalmente en una ubicación dada, cuando éste se finaliza el lugar de trabajo desaparece y los trabajadores y equipos migran hacia otro, (b) producto específico, dependiendo de la obra las empresas constructoras elaboran constantemente su plan de trabajo con los requerimientos definidos por el cliente u obra.

La actividad constructora y la de los trabajadores es diferente en función de la situación económica del país y de la inversión privada y pública, de allí el vínculo permanente entre el sector y la inversión estatal y privada (extranjera y nacional). Sus actividades pueden generarse al interior como el exterior del país, por lo que suelen ser descentralizadas dependiendo de los costos de transportes, maquinarias y materias primas. Los puestos de trabajo que pueden generarse pueden ser especializados como pueden generar nuevos puestos de trabajos no especializados (mano de obra de obreros). Según el Registro de Trabajadores de Construcción Civil (RETCC), implementado por el Ministerio de Trabajo (MTPE) no exige antecedentes penales, judiciales, ni policiales, señaló Luis Villanueva Carbajal, secretario general adjunto de la Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú (FTCCP)², lo cual permite el acceso de la delincuencia en el sector construcción.

Tabla N° 1: Principales Indicadores del Sector Construcción 2010-2016

Indicador	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Variación % 2016/2015
Producción	8396	8 602	1 006	10 882	11 250	11 071	6 164	0.9
Despacho Local 2/	8 402	8 755	10 118	11 068	11 348	11 130	6 201	0.6
Exportación	17	68	201	221	306	362	206	4.4
Importación	40	48	66	48	51	48	12	-43.7
Consumo Interno 3/	8 442	8 803	10 184	11 136	11 399	11 178	6 214	0.4

Fuente: INEI. Tomado de “Perú: Síntesis Estadística 2016” del Instituto Nacional de Estadística e Ingeniería

En la última década, el panorama de la construcción del Perú mostró un notable crecimiento pero en octubre del 2004 registró un desplome de 19.9%, otras contracciones considerables se registraron en diciembre 2008 después de la caída de Lehman Brothers con 9.3% y en abril del 2014 con un contracción de 6.43% El mejor desempeño del sector

² Cfr. Diario Gestión <http://gestion.pe/economia/sector-construccion-registro-trabajadores-no-exige-antecedentes-penales-ni-policiales-2179792>

construcción fue registrado en abril del 2008 con un crecimiento de 42.38%, en el 2009 registró un modesto crecimiento, desde entonces registra variaciones mínimas que dan impulso a la economía. Como se muestra en la Tabla N° 2, desde el 2017 en promedio el sector construcción tiene una participación de 6.09% del PBI.

Tabla N° 2: Participación del sector construcción en el PBI Perú 2007-2016

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
5.1	5.5	5.8	6.2	6.1	6.6	6.8	6.8	6.2	5.8

Fuente: INEI

El sector construcción se encuentra compuesto por el mercado inmobiliario, el mercado de cemento y obras de infraestructura pública y privada. Ambas con capital público como privado.

En el sector construcción, la materia prima en general como cemento, barras de construcción, y demás juega un papel importante en la decisión de inversión en el sector construcción. Ante ellos, las empresas inmobiliarias se encuentran afectados por estas variables, el tratamiento con sus proveedores y la inversión en la maquinaria que poseen. Entre la maquinaria especializada se encuentran la flota de excavadora, tolvas, motoniveladoras, grúa torre, camión grúa, entre otros.

La necesidad de contar con la operatividad eficiente de la maquinaria es importante debido a los costos asociados por pérdidas como Rollover³, definida como la pérdida de abrupta de un vehículo en movimiento de la trayectoria del centro de gravedad. Por ello, las empresas constructoras y en general deben contar con un plan de mantenimiento para analizar el potencial de los vehículos basado en la confiabilidad, que permita estimar los riesgos como el de los vuelcos

Las empresas constructoras en el control y aseguramiento de la calidad utilizan diferentes estrategias y métodos para las mezclas de construcción. Entre ellas se pueden especificar las mezclas asfálticas con RAP4 ((pavimento asfáltico reciclado) con métodos de reutilización; sin embargo hay que tomar medidas de durabilidad con la pérdida de las propiedades del material que pueden ser contrarrestadas con la utilización de escorias de cobre gracias a sus propiedades físicas – químicas, según un estudio de la Universidad de

³ Cfr. Cruz, P. 2016: 05-14

⁴ Cfr. Raposeiras, A.; Movilla, D.; Vargas, A.; Bilbao, R.; Cifuentes, C. 2016: 5-24

Chile, Raposeiras (2016) indicó que con cantidades de escorias de cobre del 15% en volumen, los valores de estabilidad y fluencia se estabilizan, mejorando el índice de rigidez Marshall. También se mejoran los valores de tracción indirecta y módulo resiliente para porcentajes de RAP mayores al 20%, especialmente en mezclas con porcentajes altos de RAP (40%). Otros análisis se han realizado mediante la selección de ligantes asfálticos por la metodología Superpave⁵, Delgadillo, R.; Segovia, M.; Wahr C.; Thenoux, G. realizaron un estudio con data meteorológica para definir de manera aproximada las zonas donde es apropiada cada tipo de ligante asfáltico, encontrando para el territorio chileno lo más apropiado el uso de tres tipos de ligantes asfálticos entre ellos PG58-28, PG64-22 y PG64-22 según las condiciones de alta velocidad y volúmenes de tránsito moderado. Entre otras, López C., Thenoux G., Sandoval G., Armijos V., Ramírez A. Guisado F., Moreno E. realizaron el estudio de mezclas asfálticas templadas con emulsión super estabilizada⁶, en el cual determinaron que el método de fabricación más apropiado para estas mezclas templadas es aquel que considera el uso del compactador giratorio.

De la misma manera, en el sector construcción existen problemas característicos como deformaciones plásticas en los pavimentos flexibles, en Costa Rica; Leiva F., Pérez E., Aguilar J. y Loria L. Estudiaron la correlación de los datos de deflexiones en la superficie del pavimento con las deformaciones plásticas probables en el tiempo y usaron la predicción para estimar la vida remanente del pavimento usando como criterio el ahuellamiento máximo permisible, logra predecir el ahuellamiento futuro usando como insumo el espesor de la estructura de pavimento, la deflexión superficial medida a 40kN⁷ de carga, y la repetición de ejes equivalentes, logrando una bondad de ajuste alta. Se sugiere entonces políticas de mantenimiento y rehabilitación propias de un sistema de administración de pavimentos que sean calibradas y aplicadas a su debido tiempo.

En el mundo globalizado de hoy, uno de los temas de agenda mundial es la protección del medio ambiente, el sector construcción es uno de los sectores más sensibles, la irresponsabilidad y malas prácticas pueden ser perjudiciales y se encuentran actualmente en constante inspección. Domínguez, C.; João Felgueiras J.; Varajão J. (2016), en su estudio “Certificación de Sistemas de Gestión Ambiental: empresas de construcción portuguesas” presentan los resultados de un estudio sobre la implementación de sistemas

⁵ Cfr. Delgadillo, R.; Segovia, M.; Wahr C.; Thenoux, G. 2016: 25-36

⁶ Cfr. López C., Thenoux G., Sandoval G., Armijos V., Ramírez A. Guisado F., Moreno E. 2016: 57-64

⁷ Cfr. Leiva, F.; Pérez E.; Aguiar, J.; y Loria L. 2016: 37-46

de (EMS) en empresas portuguesas de la construcción. Los resultados muestran que las razones para que las empresas utilicen la certificación ambiental van más allá de los requisitos legales ambientales. La certificación se considera un proceso en el que los beneficios compensan los costos, especialmente en relación con un mayor reciclado de materias primas, ciertas dificultades de recursos humanos y financieros, los factores que garantizan la eficacia son el compromiso y el apoyo de la alta dirección, objetivos ambientales claros consistentes y una medida de políticas medioambientales, formación, disponibilidad de tiempo y sensibilización de todos los empleados.

Una de las medidas en el cuidado del medio ambiente en el sector construcción es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, Schiavoni, S.; D'Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. (2016), realizaron un estudio de consumo de energía de un edificio. El rendimiento térmico de las paredes externas representa un factor clave para aumentar la eficiencia energética del sector de la construcción y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero⁸. El aislamiento térmico es sin duda una de las mejores maneras de reducir el consumo de energía debido a la calefacción de invierno y el enfriamiento de verano. Los materiales de aislamiento juegan un papel importante en este escenario ya que la selección del material correcto, su espesor y su posición, permiten obtener buenas condiciones de confort térmico interior y un ahorro energético adecuado. El objetivo del trabajo es revisar los principales materiales aislantes comercializados (convencionales, alternativos y avanzados) para el sector de la construcción a través de un enfoque integral y multidisciplinario, considerando las propiedades térmicas, las propiedades acústicas, la reacción al fuego y la resistencia al vapor de agua. Realizaron un análisis comparativo, considerando también materiales aislantes no convencionales, finalmente se realizó un estudio de caso evaluando tanto la transmisión térmica como las propiedades térmicas dinámicas de una pared ligera y tres de peso pesado, encontrando los diferentes tipos de materiales y formas de instalación⁹.

En ese sentido, los materiales reconocidos y aprobados en la industria de la construcción son de vital importancia en compromiso con el medio ambiente, la responsabilidad social y el desarrollo sostenible. Govindan K., Madan K., Kanna D. 2016: 1274-1288 en el estudio de investigación “Sustainable material selection for construction industry – A

⁸ Cfr. Schiavoni, S.; D'Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. 2016: 988-1011

⁹ Cfr. Schiavoni, S.; D'Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. 2016: 988-1011

hybrid multi criteria decision making approach”., mencionan que, la urbanización y la globalización conducen a un acelerado desarrollo de la industria de la construcción, por ello se conducen muchas estrategias para mejorar la rentabilidad. Entre estas estrategias está la selección de materiales sostenibles que desempeñan un papel vital en la huella medioambiental de un edificio¹⁰. En los Emiratos Árabes Unidos existe una demanda constante para seleccionar los mejores materiales de construcción sostenible. El objetivo principal descansa en proponer un modelo para evaluar el mejor material de construcción sostenible basado en indicadores sostenibles a través de una metodología híbrida de toma de decisiones multi criterio (MCDM) con un examen específico de los EAU. El estudio concluye con una evaluación de sus propias limitaciones junto con la identificación de algunas implicaciones gerenciales útiles y comparación con la literatura existente¹¹.

Normativa Legal

En el aspecto regulatorio, se ha considerado las leyes y disposiciones legales peruanas para incursionar en el mercado peruano, brindado las garantías y a la altura de los estándares de calidad.

En el marco regulatoria se menciona a las principales:

- Ley General del Ambiente N° 28611- 2005 que regula todo el marco legal de la política ambiental del país.
- Ley General de Aguas N° 17752 establece el derecho del agua como propiedad del Estado.
- Ley General de Residuos Sólidos N° 27314- 2000 define la gestión, manejo y disposición final de los residuos peligrosos y no peligrosos.
- Decreto Supremo Reglamento Manejo Residuos de la Construcción N° 003-2013.
- Decreto Supremo N° 057-2004-PCM que reglamenta la Ley de Residuos, a fin de asegurar la gestión de los residuos en beneficio de la salud de la persona y calidad ambiental.
- Decreto Supremo N° 050-94 ED que garantiza el cumplimiento referente al patrimonio cultural, a través del Instituto de Cultura- INC.

¹⁰ Cfr. Govindan K., Madan K., Kanna D. 2016: 1274-1288

¹¹ Cfr. Govindan K., Madan K., Kanna D. 2016: 1274-1288

- Decreto Supremo N° 007-83 SA regula el control de los efluentes y desecho a través de la Dirección General de Salud Ambiental- DIGESA.
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire N° 074-2001 PCM, sobre los niveles máximos permisibles de la calidad del aire.
- Decreto Supremo sobre los estándares para el ruido Ambiental. N° 085-2003 PCM
- Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA y N° 017-2012-VIVIENDA Reglamento Nacional de Edificación.
- Decreto Supremo Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos N° 026-94-EM
- Decreto Supremo Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transportes de Gas Licuado de Petróleo N° 27-94-EM.
- Ley de Contrataciones del Estado y sus reglamentos. Ley N° 30225
- Ley Seguridad y Salud en el Trabajo N° 29783, velar y monitorear los planes y políticas en materia ambiental seguridad.
- Decreto Supremo que reglamenta la Seguridad y Salud en el Trabajo N° 005-2012-TR, determina las obligaciones y derechos del Empleador y Trabajador en Materia de seguridad y salud en el trabajo.
- Decreto Supremo Reglamento de Seguridad Industrial. N° 42-F
- Decreto Supremo Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo N° 005-2012
- Decreto Supremo Reglamento Nacional Vehicular N° 058-2003, pesos y medidas de los camiones y transporte por el territorio nacional.
- Decreto Supremo legisla sobre el Plan Nacional Operaciones de Emergencia N° 098-2007.
- Decreto Supremo Inspecciones Técnicas Seguridad Defensa Civil- INDECI N° 043-2000.
- Decreto Supremo reglamenta el Transporte Terrestre de Materiales Peligroso en el territorio Nacional N° 021-2008.

Cabe mencionar que, en el Perú la ley de contrataciones para la inversión pública cuenta con más de 25 regímenes de contratación pública. En poner lugar, se encuentra la norma general, que es la ley de contrataciones, y una serie de exoneraciones y pactos internacionales, que hacen que el Perú tenga varios regímenes que ocasionen sobre costos al momento de realizar la participación del concurso o licitación pública. Actualmente, la nueva ley de contrataciones introdujo la gestión por resultados, lo cual puede generar arbitrariedades.

El sector construcción en entidades públicas

El estado como impulsador de la economía tiene entre sus principales prioridades invertir los recursos públicos eficientemente para el bienestar de la población; así mismo incentivar la inversión pública y privada en obras de infraestructura y saneamiento, educación, vivienda y alimentación entre otros.

El Ministerio de Economía y Finanzas, a nivel nacional se encarga de proyectar, asignar y distribuir los recursos públicos para la ejecución de proyectos públicos encargados a los gobiernos locales, regionales y nacionales, mediante el presupuesto institucional. Sin embargo, las entidades públicas encuentran una serie de dificultades y deficiencias para la correcta asignación de los recursos y la ejecución de las obras en cartera. En el primer trimestre del 2016, la contratación pública cayó alrededor del 50%, respecto al mismo periodo del año anterior, debido a la nueva normativa de contratación del Estado.

En la siguiente figura se aprecia la inversión del estado en obras públicas según el informe de la Asociación para el Fomento de Infraestructura Nacional (AFIN), la inversión de obras públicas es seis veces mayor que el cofinanciamiento de Asociaciones Público Privadas (APP), proyectándose para el 2018 el 89% de la inversión en solo públicas, lo que estaría en agenda realizar gestiones eficientes en APP y que se ejecuten las obras de infraestructura en beneficio de la población también como dinamizadora de otros sectores de la economía.

Figura N° 1: Formación Bruta de Capital en Obras Públicas y APP 2013 - 2018

Fuente: Asociación para el Fomento de Infraestructura Nacional - AFIN

El estado invierte en promedio 4.8% del PBI en Obras Públicas, mientras que 0.8% en Asociaciones Público y Privadas, como se muestra en la Figura N° 2. Pese a las metas trazadas, éstas se encuentran inconclusas y deficientes, según Infobras de la Contraloría General de la Republica, a mayo del 2015 se registraron 560 obras paralizadas por S/ 4,293 millones, el 74% se ejecutó bajo la modalidad de Administración Directa y se encontraron en los gobiernos locales¹².

Figura N° 2: Participación del PBI en Obras Públicas y APP 2013 - 2018

Fuente: Asociación para el Fomento de Infraestructura Nacional – AFIN

¹² Cfr. Gestión <http://gestion.pe/economia/obras-publicas-vs-app-cofinanciadas-cuanto-invierte-estado-ambos-2159870/5>

En el 2016, la ejecución de inversión pública alcanzó los S/ 27,816¹³ millones generados por los gobiernos local, regional y central, con mayor participación en el gobierno local con S/ 11,889 millones de inversión seguidos por el gobierno nacional y regional con S/ 10,415 y S/ 5,512. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones lidera el ranking de ejecución de inversión pública con una ejecución de S/ 5,962 millones de su presupuesto institucional, seguido del Ministerio de Educación con una ejecución de S/ 1,104 millones. A nivel regional, el Gobierno Regional de La Libertad ejecutó el 94% de inversión liderando el ranking, y a nivel local las localidades del departamento de Cusco lideraron el ranking con un monto total ejecutado de S/ 1,450 millones, según informó el Ministerio de Economía y Finanzas.

Principalmente los problemas en la construcción de obras públicas se encuentran afectadas por los casos de corrupción, la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO)¹⁴ en su informe de sondeo de “Expectativas del Sector Construcción” reportó que el 93% de la muestra consideran el afecto negativo por la corrupción de las entidades públicas; así mismos los proveedores, y constructores de infraestructura también se ven afectados.

Para contrarrestar la contracción en el sector construcción, CAPECO propone como alternativa formar un comité que participe en licitaciones de obras públicas de determinada magnitud en los tres niveles de gobierno en continuar con el compromiso de la ética en la actividad constructora que involucra a grandes empresarios y profesionales. El énfasis se da en la meritocracia en el sector público en áreas encargadas de contrataciones y licitaciones públicas, así como la modificación de las normas de contratación del Estado con mayor participación de recursos tecnológicos e informáticos¹⁵.

Los proyectos públicos principalmente son infraestructura vial, en la siguiente Tabla N° 3, muestra la inversión acumulada de 1992 al 2014 según fuentes de financiamiento, el Tesoro Público es la que inyecta mayor cantidad de dinero en obras de infraestructura de transporte.

¹³ Cfr. CAPECO <http://www.capeco.org/noticias/ejecucion-de-inversion-publica-alcanza-los-s-27-816-millones/>

¹⁴ Cfr. Gestión <http://gestion.pe/inmobiliaria/mas-90-empresas-constructoras-serian-afectadas-casos-corupcion-obras-publicas-2188711>

¹⁵ Cfr. CAPECO <http://www.capeco.org/noticias/ejecucion-de-inversion-publica-alcanza-los-s-27-816-millones/>

Según Echaveguren T., Chamarro A., De Solminihac H., (2016), la gestión de infraestructura vial es un sistema socio-técnico con rasgos de sistema abierto y adaptativo, dado que existe interacción entre agentes (estado, privados y público), necesita incluir la variabilidad a través de la inclusión de los riesgos, y genera externalidades que modifican las condiciones iniciales sobre las cuales opera el sistema. Plantean un modelo genérico para la gestión de infraestructura vial para caracterizar los tipos de agentes involucrados y sus riesgos bajo el enfoque de modelación que permite incorporar decisiones de los agentes sobre planificación del mantenimiento y a la vez que posee la suficiente flexibilidad para incorporar otros efectos tales como la incertidumbre y el riesgo, tomando como base que un sistema de gestión de activos es un sistema abierto de carácter socio-técnico más que un sistema cerrado mecanicista¹⁶.

Tabla N° 3: Inversión acumulada de proyectos en infraestructura de transporte, según fuente de financiamiento 1992 - 2014

Fuente de Financiamiento	Total	BID	BIRF	CAF	JBIC	KfW	Comunidad Europea	Otros	Tesoro Público
Total	10 739	738	149	689	358	55	29	40	8 681
BID I - 651/OC-PE 1/	366	210	-	49	-	-	-	6	101
BID II - 836/OC-PE 1/	557	252	-	-	-	-	-	29	276
BID III - 1150/OC-PE	268	150	-	-	-	-	-	-	118
BID 1827/OC-PE	147	94	-	-	-	-	-	-	53
BID 2769/OC-PE	30	24	-	-	-	-	-	-	6
BIRF 3717 - PE	223	-	149	-	-	-	-	-	74
KfW (Olmos-C. Quemado)	86	-	-	-	-	55	-	-	31
Fondo OPEC 630-P	7	-	-	-	-	-	-	5	2
CAF Preinversión (120)	8	-	-	5	-	-	-	-	3
CAF Rioja-Tarapoto	85	-	-	50	-	-	-	-	35
CAF Sectorial (2749)	66	-	-	36	-	-	-	-	30
Reconstrucción El Niño	12	8	-	-	-	-	-	-	4
CAF Ilo-Desaguadero	100	-	-	49	-	-	-	-	51
JBIC PE-P15	222	-	-	-	144	-	-	-	78
JBIC PE-P18	115	-	-	-	76	-	-	-	39
JBIC PE-P22	188	-	-	-	138	-	-	-	50
Comunidad Europea	47	-	-	-	-	-	29	-	18
CAF (Concesiones)	1 165	-	-	500	-	-	-	-	665
Proyecto de inversión sin financiamiento externo	7 047	-	-	-	-	-	-	-	7 047

Fuente: Compendio Estadístico Perú 2015 – Sector Construcción

¹⁶ Cfr. Echaveguren, T.; Chamarro, A.; De Solminihac, H. 2016: 47-56

El sector construcción en entidades privadas

El sector privado es un elemento clave dinamizador de la economía, por lo que estado se encuentra en una constante tarea de incentivar la inversión privada de la manera más eficiente en beneficio de la nación.

Según los estudios de la Cámara Peruana de la Construcción, el estado invierte entre el 5% y 6% del PBI en construcción, mientras que la empresa privada invierte en promedio el 22%¹⁷, cuatro veces mayor lo que no se sólo se muestran en obras en infraestructura sino también afectan a otras industrias y también son generadores de empleo.

La mejora en la inversión privada se da gracias a la confianza empresarial y a las mejoras expectativas del entorno económico y político; así el Ministerio de Economía y Finanzas en el Marco Macroeconómico Multianual 2017 - 2019, considera la inversión privada como una variable para reactivar la economía inversión – empleo – consumo, dado que la inversión privada mostró contracciones en los últimos tres años. Con mejores expectativas de la inversión privada se prevé en el término del 2017 una recuperación del 5%¹⁸, sumado a las medidas de destrabe y de mejora del entorno de negocios por los entes rectores.

Otro elemento importante que resaltar es que el rebote de la confianza empresarial que se ha visto en lo que va del año dista del deterioro registrado en otros países de la región. Así, la mejoría del rebote se da debido a la confianza empresarial por factores locales.

El dinamismo de la inversión privada retomará ciclos de crecimiento, según el MMM, en el 2015 registró una contracción de -4.5% y en el 2016 una contracción de 1.7% el mayor dinamismo lo impulsará los sectores no transables, así como la inversión en proyectos de infraestructura de transporte de las 31 concesiones y de otros sectores serán el principal motor de crecimiento de la inversión privada mostrando crecimiento de 5.9% al 2019, como se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4: Inversión Privada Perú (Var % real anual)

2015	2016	2017	2018	2019
-4.5	-1.7	5.0	5.5	5.9

Fuente: MMM 2017 – 2019

¹⁷ Cfr. Semana Económica <http://semanaeconomica.com/tema/inversion-privada-en-construccion-ascendera-a-us30000-millones-este-ano/>

¹⁸ Cfr. MMM 2017 – 2019 Revisado.

https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/marco_macro/MMM_2017_2019_Revisado.pdf

El mercado inmobiliario abarca edificaciones de locales comerciales, viviendas familiares, y oficinas entre otros, el crecimiento de este sector al cierre del 2017 se estima una expansión de 4% alineado con el crecimiento de la economía nacional. Factores como destrabe de los grandes proyectos de infraestructura, posibilidad de retiro del 25% de los fondos de las AFP del segmento A/B para la adquisición de viviendas y departamentos, mejores expectativas de los créditos hipotecarios, entre hacen impulsan el desarrollo de las inversiones privadas.

En la siguiente Tabla N° 5, se muestra los indicadores del mercado inmobiliario, según el Estudio del Mercado de Edificaciones en Lima Metropolitana y el Callao publicado por CAPECO, el cual publicó resultados como una caída de 2.3% en el número de departamentos vendidos en el 2016.

Tabla N° 5: Indicadores del Mercado Inmobiliario

Indicador	2014	2015	2016	Promedio 2007-2016
Número de departamentos nuevos vendidos - CAPECO ^{1/}	16 337	10 889	10 643	-246
Variación porcentual	-22,7	-33,3	-2,3	31,1
Unidades vendidas de departamentos nuevos - Tinsa ^{2/}	11 049	12 901	10 865	-2 036
Variación porcentual	-30,0	16,8	-15,8	-32,5
Demanda insatisfecha - CAPECO ^{1/}	415 592	435 129	449 750	14 621
Variación porcentual	0,9	4,7	3,4	-1,3
Nuevos créditos hipotecarios para vivienda ^{3/}	32 915	30 358	28 088	-2 270
Variación porcentual	-6,5	-7,8	-7,5	0,3
Nuevos créditos Mivivienda ^{4/}	10 777	9 090	8 082	-1 008
Variación porcentual	-18,1	-15,7	-11,1	4,6
Número de deudores de créditos hipotecarios vigentes ^{3/}	202 704	209 646	212 084	2 438
Variación porcentual	7,2	3,4	1,2	-2,3
Desembolsos de créditos hipotecarios S/ (millones) ^{3/}	6 816	8 311	7 437	-874
Variación porcentual	1,2	21,9	-10,5	-32,4
Desembolsos de créditos hipotecarios US\$ (millones) ^{3/}	610	320	460	140
Variación porcentual	-3,8	-47,6	43,7	91,3
Tasa de interés promedio para créditos hipotecarios S/ ^{5/}	9,2	9,0	8,9	-0,1
Tasa de interés promedio para créditos hipotecarios US\$ ^{5/}	8,3	8,2	7,8	-0,4
Ratio Precio/Alquiler anual (PER) ^{6/}	16,2	17,0	17,7	0,7

1/ El Mercado de Edificaciones Urbanas en Lima Metropolitana, CAPECO. Considera un periodo de julio de un año hasta junio del año siguiente.
2/ Informe de Coyuntura Inmobiliaria, Tinsa PERU SAC.
3/ Banca múltiple. Fuente SBS.
4/ Corresponde al producto Nuevo Crédito Mivivienda. Fuente: Fondo Mivivienda.
5/ Tasa activa promedio del sistema bancario. Fuente SBS.
6/ Corresponde a la información del cuarto trimestre del año. Ratio precio de venta respecto al ingreso por alquiler anual (PER, por sus siglas en inglés).

Fuente: Tomado de Memoria 2016. Banco Central de Reserva del Perú

Indicadores que muestran el desarrollo de la inversión privada son la venta de cemento, producción y venta de barras de construcción, número de vivienda y créditos. Según el Compendio Estadístico Perú 2015 – Sector Construcción, la venta de cemento ha mostrado un crecimiento del 2010 al 2014, como se muestra en la figura N° 3, N° 4 y una combinación con la inversión pública mediante el Fondo MiVivienda como se muestra en la Tabla N° 6.

Figura N° 3: Venta Local de Cemento 2010 – 2014 (Miles de toneladas)

Fuente: Compendio Estadístico Perú 2015 – Sector Construcción

Figura N° 4: Venta de Barras de Construcción 2010 – 2014 (Miles de toneladas)

Fuente: Compendio Estadístico Perú 2015 – Sector Construcción

Tabla N° 6: Créditos totales del fondo MiVivienda, según programa 2010-2014 (Miles de nuevos soles)

Programa	2010	2011	2012	2013	2014
Total	623 954	947 295	1 113 574	1 368 284	1 182 302
Crédito Complementario Techo Propio	35 219	42 405	23 732	20 311	10 803
Nuevo Crédito MiVivienda	588 735	904 890	1 083 959	1 319 701	1 139 191
Mi Construcción	-	-	5 883	28 272	31 166
MiCasa Más	-	-	-	-	1 143

Fuente: Compendio Estadístico Perú 2015 – Sector Construcción

Análisis de la Industria

La industria de la Construcción es una de las actividades económicas más representativas y dinámicas de la economía de una nación, a lo largo de la historia la construcción en el Perú ha sido un gran movilizador de la economía y un indicador del bienestar y desarrollo económico. El sector construcción como parte del PBI, en los últimos años ha mostrado en promedio 6.1%¹⁹ de participación.; sin embargo, dinamiza simultáneamente otros sectores como manufactura, electricidad, servicios, transporte, telecomunicaciones entre otros, además de ser una gran fuente de trabajo.

El sector construcción ha demostrado gran dinamismo en los últimos diez años, como se muestra en la Tabla N° 13, para el periodo del 20010 al 2016 según información del Compendio Estadístico 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática, el sector por actividad económica ha mantenido su ritmo de crecimiento, en el caso de la producción, exportación y consumo interno, y otros.

¹⁹ Cfr. INEI – Promedio de la información estadística de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

Tabla N° 7: Principales Indicadores del Sector Construcción 2010-2016

INDICADOR	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
VAB Construcción (Variación %) 1/	16.8	6.8	17.8	3.6	15.8	9.1	1.7
Cemento (tonelada)							
Producción	6 921	7 228	8 396	8 601	10 005	10 882	11 249
Despacho Total	735	993	294	909	805	166	587
2/ Despacho Local	6 777	7 084	8 419	8 822	10 318	11 310	11 608
2/ Despacho Local	088	998	664	526	912	290	560
2/ Exportación	6 714	7 083	8 402	8 755	10 117	11 089	11 302
2/ Importación	772	147	270	014	922	431	283
3/ Consumo Interno	62 316	1 851	17 394	67 512	200 989	220 859	306 277
3/ Importación	221 559	173 610	325 883	404 774	451 645	47 751	51 220
3/ Consumo Interno	6 963	7 223	8 442	8 802	10 183	11 137	11 399
3/ Venta Total	361	812	063	965	616	183	337
3/ Venta Local	6 802	7 095	8 441	8 955	10 119	11 259	11 547
3/ Venta Local	919	471	243	884	051	840	982
3/ Venta Local	6 740	7 093	8 439	8 885	9 918	11 038	11 241
3/ Venta Local	603	620	212	824	062	982	705
Asfalto (Miles barriles)							
Venta Interna	975	1 495	1 765	1 414	1 351	1 348	1 669

Fuente: INEI

Análisis externo del contexto de la empresa

La normativa legal y la actualidad de la industria sirven como fuentes para desarrollar un análisis externo de la industria, para ello en la tabla N° 8 se presenta la elaboración del análisis PESTEL que en la cual trabaja la empresa bajo estudio.

Tabla N° 8: Análisis PESTEL de la Industria

Factores específicos de la industria	Impacto potencial	Oportunidad	Amenaza	Probabilidad de ocurrencia	Impacto en la empresa
	Alto Medio Bajo Desconocido				
Político					

Incertidumbre sobre el Liderazgo gubernamental	Alto		x	Alto	Alto
Subsidios del fondo Mi VIVIENDA para la construcción	Medio	x		Media	Alto
Programa nacional AGUA PARA TODOS	Medio	x		Media	Medio
Alto interés en destrabar proyectos de inversión	Medio	x		Media	Alto
Las elecciones municipales podrían descontinuar programas de inversión	Bajo		x		Bajo
Proyecto Perú - Bolivia de inversión	Medio	x		Alto	Bajo
Economía					
Situación económica actual de desaceleración económica menos del 3 %	Medio		X	Medio	Alto
Baja inversión privada en proyectos de inversión	Alto	x		Alto	Medio
Inflación, tipo de cambio estables	Medio		X	Medio	Alto
Alta inversión pública en proyectos de reconstrucción en el norte	Bajo	x		Alto	Medio
Alta inversión pública en transporte	Bajo	x		Baja	Bajo

Desaceleración de la demanda interna por departamentos	Medio		X	Medio	Medio
Social Incremento de los conflictos sociales	Alto		x	Media	Medio
Tecnología Creación de nuevos sistemas de construcción a través de la creación de productos más ligeros que reemplazan al denominado material noble ladrillos y cemento han permitido el avance en dicho sector debido a que sus costos son menores. Potencial de innovación de la industria Acceso a tecnología	Alto	x		Alto	Alto
	Alto	x	X	Bajo	Alto
	Medio		X	Alto	Alto
Entorno/ecológico Leyes es el Decreto Supremo No.019-97-ITINCI Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera. Fuertes inversiones para cumplir las	Alto		X	Alto	Alto
	Medio		X	Medio	Alto

regulaciones de infraestructura y ambientales					
Falta de electricidad en las zonas de provincia	Medio		X	Media	Medio
Emisión de gases	Bajo		X	bajo	Alto
Legal Legislación de empleo	Medio		X	Bajo	Alto

Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

A partir de esta información se tiene una mejor idea del contexto donde se desarrolla el negocio, identificando que las principales oportunidades de la industria se dan dentro de sector de obras públicas, debido a los planes de gobierno de reconstrucción nacional y proyectos de agua y alcantarillado. Mientras que las principales amenazas están relacionadas con la desaceleración de los proyectos de vivienda privados que se desarrollan dentro de la ciudad de Lima.

Análisis de competitividad de la industria

Para determinar el contexto en el que se desarrolla la empresa se realiza el análisis de la competitividad de la industria, para lo cual se evalúan en la tabla 2 los factores más importantes que determinan el poder de negociación de cada fuerza: competidores, proveedores, sustitutos, ingreso de nuevos competidores y clientes.

Tabla N° 9: Factores de las fuerzas de Porter

Determinantes de la sustitución	Fuerza del Poder	Valor
Rendimiento relativo de los precios de los sustitutos (Alto rendimiento por dólar = muy fuerte, bajo rendimiento = muy débil)	Débil	2
Número de productos sustitutos (Muchos sustitutos = muy fuerte, pocos sustitutos = muy débil)	Muy debil	1
Cosro de cambio de los compradores (costes bajos para el comprador = muy fuerte, costes de cambio altos = muy débiles)	Moderado	3
Propensión del comprador para cambiar de proveedor (Conmutación Frecuente = Muy Fuerte, Conmutación Infrecuente = Muy Débil)	Fuerte	4

Facilidad de sustitución (Fácil de sustituir = Muy fuerte, Difícil de sustituir = Muy débil)	Muy débil	1
Depreciación de Calidad (Depreciación rápida = muy fuerte, depreciación lenta = muy débil)	Débil	2
El producto satisface las necesidades de los clientes (Pocas necesidades satisfechas = muy fuerte, la mayoría de las necesidades satisfechas = muy débil)	Fuerte	4
Nivel Percibido de Diferenciación del Comprador (Baja diferenciación percibida = muy fuerte, alta diferenciación = muy débil)	Fuerte	4
Puntuación media		2.625
Determinantes del poder del proveedor	Fuerza del Poder	Valor
Grado de diferenciación de los insumos (Alta diferenciación = muy fuerte, baja diferenciación = muy débil)	Muy débil	1
Costo de cambiar proveedores (Costos altos = muy fuertes, bajos costos = muy débiles)	Fuerte	4
Presencia de insumos sustitutos (Pocos sustitutos = muy fuerte, muchos sustitutos = muy débil)	Muy fuerte	5
Concentración del proveedor en comparación con la concentración de la industria (Concentración mayor = muy fuerte, concentración baja = muy débil)	Fuerte	4
Importancia del volumen al proveedor (Poca importancia = muy fuerte, gran importancia = muy débil)	Fuerte	4
Impacto de los insumos sobre el costo o la diferenciación (Alto impacto = muy fuerte, impacto bajo = muy débil)	Muy fuerte	5
Amenaza de integración directa del Proveedor (Amenaza sustancial = Muy fuerte, amenaza Inconsecuencial = muy débil)	Moderado	3
Puntuación media		3.71429
Amenaza de nuevos participantes	Fuerza del Poder	Valor
Economías de escala (Pequeñas economías = Muy fuerte, Grandes economías = Muy débil)	Moderado	3
Barreras para entrar (Barreras bajas = muy fuertes, barreras altas = muy débiles)	Débil	2

Identidad de la marca (Marcas existentes débiles = muy fuertes, fuertes marcas existentes = muy débiles)	Fuerte	4
Cambiar costos o costos hundidos (Pequeños costes hundidos = Muy fuerte, Grandes costes hundidos = Muy débiles)	Débil	2
Requisitos de capital (Se requieren pequeños desembolsos de capital = muy fuertes, se requieren grandes desembolsos de capital = muy débiles)	Débil	2
Acceso a la distribución - ¿Qué tan fácil pueden encontrar los canales de distribución? (Acceso Fácil = Muy Fuerte, Acceso Restringido = Muy Débil)	Fuerte	4
Ventajas del costo absoluto (Pocas ventajas de costo existentes = muy fuerte, altas ventajas de costo existentes = muy débil)	Moderado	3
Curva de aprendizaje patentada (Curva de aprendizaje débil en el lugar = muy fuerte, curva de aprendizaje fuerte en el lugar = muy débil)	Débil	2
Acceso a los insumos necesarios (Acceso abierto / fácil = muy fuerte, acceso restringido = muy débil)	Fuerte	4
Política gubernamental (Política No Restrictiva = Muy Fuerte, Restrictiva Política del Gobierno = Muy débil))	Fuerte	4
Represalia esperada (Débil / Lento = Muy Fuerte, Rápido / Rápido Represalias = Muy Débil)	Moderado	3
Puntuación media		3
Intensidad de rivalidad	Fuerza del Poder	Valor
El crecimiento del mercado (Muy lento = muy fuerte, muy rápido = muy débil)	Moderado	3
Costos fijos / valor agregado (Altos costos fijos = muy fuerte, bajos costos fijos = muy débil)	Fuerte	4
Sobrecapacidad intermitente / permanente (Altos niveles de sobrecapacidad = muy fuerte, niveles bajos = muy débil)	Fuerte	4
Diferencias de producto (Pequeñas diferencias = muy fuerte, muchas diferencias = muy débil)	Fuerte	4
Identidad de la marca (Identidad de marca mínima = muy fuerte, identidad de marca fuerte = muy débil)	Fuerte	4

Costos de cambio del comprador (Costos de conmutación bajos = muy fuerte, altos costos de conmutación = muy débil)	Fuerte	4
Concentración de mercado y balance en relación a compradores y proveedores (Alta concentración = muy fuerte, baja concentración = muy débil)	Fuerte	4
Complejidad informacional (Baja complejidad informacional = muy fuerte, alta complejidad informacional = muy débil)	Moderado	3
Diversidad de competidores (Baja diversidad de competidores = muy fuerte, alta diversidad = muy débil)	Débil	2
Barreras de salida (Barreras de salida altas = muy fuertes, barreras de salida bajas = muy débiles)	Moderado	3
Puntuación media		3.5
Determinantes del poder del cliente	Fuerza del Poder	Valor
Concentración de clientes en comparación con la concentración de la industria (Mayor concentración de clientes = muy fuerte, concentración más baja = muy débil)	Fuerte	4
Grado de dependencia del comprador sobre los canales de distribución existentes (Baja dependencia = muy fuerte, alta dependencia de los canales existentes = muy débil)	Moderado	3
Volumen de compra del comprador (Volumen alto = muy fuerte, volumen bajo = muy débil)	Fuerte	4
Los costos de cambio del comprador en comparación con las barreras de salida de la industria (Costos de conmutación bajos = muy fuerte, altos costos de conmutación = muy débil)	Moderado	3
Información del cliente disponible (Poca información disponible = muy fuerte, mucha información disponible = muy débil)	Moderado	3
Capacidad del comprador para la integración hacia atrás (Fácil de integrar hacia atrás = muy fuerte, difícil de integrar hacia atrás = muy débil)	Débil	2
Disponibilidad de productos sustitutos (Numerosos sustitutos = muy fuerte, pocos sustitutos = muy débil)	Débil	2
Sensibilidad de precio del comprador (Muy sensible = muy fuerte, poca sensibilidad = muy débil)	Moderado	3
Ventaja diferencial: singularidad del producto de la industria	Muy fuerte	5

(Diferencial pequeño = muy fuerte, diferencial alto = muy débil)		
Beneficios de los clientes (Beneficios bajos = muy fuertes, altos beneficios = muy débiles)	Fuerte	4
Puntuación media		3.3

Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Para entender la situación competitiva del sector se resumen las puntuaciones de las 5 fuerzas de Porter en la figura 5, en donde se determina que la principal fuerza del sector es el poder de negociación de los proveedores, como el cemento es un commodity que no se puede reemplazar y depende de los costos de producción de la extracción de los minerales, la industria de la construcción depende fuertemente de los proveedores de las materias primas como cemento, fierro, etc.

La segunda fuerza más importante es la rivalidad entre los competidores, como vemos existen muchas empresas que participan en el sector construcción en el país, empresas grandes, medianas y pequeñas. Las cuales no cuentan con un factor de diferenciación fuerte entre sus productos o servicios, por lo cual muchas de las decisiones de compra de los clientes se dan por términos de precio y tiempo de entrega.

Figura N° 5: Análisis de las 5 fuerzas de Porter

Estrategia Nivel 2: Estrategia a Nivel de la Industria - Las Cinco Fuerzas de Porter				
Industria:	CONSTRUCCIÓN	Amenaza de nuevos participantes	3	
	El poder de negociación de los proveedores	3.714	Rivalidad entre los competidores existentes	3.5
				El poder de negociación de los compradores
			Amenaza de Productos / Servicios Sustitutos	2.625
				3.3

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, podemos concluir que para la empresa bajo estudio es importante desarrollar un proceso altamente eficiente que lleve a tener los costos de producción más bajos de la industria, con la finalidad de poder otorgar a los clientes precios competitivos en las obras.

Características de la industria

Las características de la actividad de las empresas constructoras son diferentes a las empresas de los demás sectores de la economía nacional basándose principalmente en dos aspectos básicos:

- Movilidad permanente, dado que los centros de producción se dan temporalmente en una ubicación dada, cuando éste se finaliza el lugar de trabajo desaparece y los trabajadores y equipos migran hacia otro,
- Producto específico, dependiendo de la obra las empresas constructoras elaboran constantemente su plan de trabajo con los requerimientos definidos por el cliente u obra.
- Descentralización, las actividades pueden generarse al interior como el exterior del país, dependiendo de los costos de transportes, maquinarias y materias primas.
- Los puestos de trabajo pueden generarse pueden ser especializados como pueden generar nuevos puestos de trabajos no especializados (mano de obra de obreros). Según el Registro de Trabajadores de Construcción Civil (RETCC), implementado por el Ministerio de Trabajo (MTPE) no exige antecedentes penales, judiciales, ni policiales, señaló Luis Villanueva Carbajal, secretario general adjunto de la Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú (FTCCP)²⁰, lo cual permite el acceso de la delincuencia en el sector construcción.

En la última década, el mejor desempeño del sector construcción fue registrado en abril del 2008 con un crecimiento de 42.38%, en el 2009 registró un modesto crecimiento, desde entonces registra variaciones mínimas que dan impulso a la economía. Como se muestra en la Tabla N° 14, desde el 2007 en promedio el sector construcción tiene una participación de 6.09% del PBI.

²⁰ Cfr. Diario Gestión <http://gestion.pe/economia/sector-construccion-registro-trabajadores-no-exige-antecedentes-penales-ni-policiales-2179792>

Tabla N° 10: Participación del sector construcción en el PBI Perú 2007-2016

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
5.1	5.5	5.8	6.2	6.1	6.6	6.8	6.8	6.2	5.8

Fuente: INEI

Estructura de la industria

El sector construcción se encuentra compuesto por el mercado inmobiliario, el mercado de cemento y obras de infraestructura pública y privada. Ambas con capital público como privado.

En el sector construcción, la materia prima en general como cemento, barras de construcción, y demás juega un papel importante en la decisión de inversión en el sector construcción. Ante ellos, las empresas inmobiliarias se encuentran afectados por estas variables, el tratamiento con sus proveedores y la inversión en la maquinaria que poseen. Entre la maquinaria especializada se encuentran la flota de excavadora, tolvas, motoniveladoras, grúa torre, camión grúa, entre otros.

La necesidad de contar con la operatividad eficiente de la maquinaria es importante debido a los costos asociados por perdidas como Rollover²¹, definida como la perdida de abrupta de un vehículo en movimiento de la trayectoria del centro de gravedad. Por ello, las empresas constructoras y en general deben contar con un plan de mantenimiento para analizar el potencial de los vehículos basado en la confiabilidad, que permita estimar los riesgos como el de los vuelcos.

Las empresas constructoras en el control y aseguramiento de la calidad utilizan diferentes estrategias y métodos para las mezclas de construcción. Entre ellas se pueden especificar las mezclas asfálticas con RAP²² ((pavimento asfáltico reciclado) con métodos de reutilización; sin embargo hay que tomar medidas de durabilidad con la perdida de las propiedades del material que pueden ser contrarrestadas con la utilización de escorias de cobre gracias a sus propiedades físicas – químicas, según un estudio de la Universidad de Chile, Raposeiras (2016) indicó que con cantidades de escorias de cobre del 15% en volumen, los valores de estabilidad y fluencia se estabilizan, mejorando el índice de rigidez Marshall. También se mejoran los valores de tracción indirecta y módulo resiliente para porcentajes de RAP mayores al 20%, especialmente en mezclas con porcentajes altos

²¹ Cfr. Cruz, P. 2016: 05-14

²² Cfr. Raposeiras, A.; Movilla, D.; Vargas, A.; Bilbao, R.; Cifuentes, C. 2016: 5-24

de RAP (40%)²³. Otros análisis se han realizado mediante la selección de ligantes asfálticos por la metodología Superpave²⁴, Delgadillo, R.; Segovia, M.; Wahr C.; Thenoux, G. realizaron un estudio con data meteorológica para definir de manera aproximada las zonas donde es apropiada cada tipo de ligante asfáltico, encontrando para el territorio chileno lo más apropiado el uso de tres tipos de ligantes asfálticos entre ellos PG58-28, PG64-22 y PG64-22 según las condiciones de alta velocidad y volúmenes de tránsito moderado.

Responsabilidad Social de la industria

En el mundo globalizado de hoy, uno de los temas de agenda mundial es la protección del medio ambiente, el sector construcción es uno de los sectores más sensibles, la irresponsabilidad y malas prácticas pueden ser perjudiciales y se encuentran actualmente en constante inspección. Domínguez, C.; João Felgueiras J.; Varajão J. (2016), en su estudio “Certificación de Sistemas de Gestión Ambiental: empresas de construcción portuguesas” presentan los resultados de un estudio sobre la implementación de sistemas de (EMS) en empresas portuguesas de la construcción. Los resultados muestran que las razones para que las empresas utilicen la certificación ambiental van más allá de los requisitos legales ambientales. La certificación se considera un proceso en el que los beneficios compensan los costos, especialmente en relación con un mayor reciclado de materias primas, ciertas dificultades de recursos humanos y financieros, los factores que garantizan la eficacia son el compromiso y el apoyo de la alta dirección, objetivos ambientales claros consistentes y una medida de políticas medioambientales, formación, disponibilidad de tiempo y sensibilización de todos los empleados.

Una de las medidas en el cuidado del medio ambiente en el sector construcción es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, Schiavoni, S.; D’Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. (2016), realizaron un estudio de consumo de energía de un edificio. El rendimiento térmico de las paredes externas representa un factor clave para aumentar la eficiencia energética del sector de la construcción y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El aislamiento térmico es sin duda una de las mejores maneras de reducir el consumo de energía debido a la calefacción de invierno y el enfriamiento de verano. Los materiales de aislamiento juegan un papel importante en este escenario ya

²³ Cfr. Raposeiras, A.; Movilla, D.; Vargas, A.; Bilbao, R.; Cifuentes, C. 2016: 5-24

²⁴ Cfr. Delgadillo, R.; Segovia, M.; Wahr C.; Thenoux, G. 2016: 25-36

que la selección del material correcto, su espesor y su posición, permiten obtener buenas condiciones de confort térmico interior y un ahorro energético adecuado²⁵.

El objetivo del trabajo fue revisar los principales materiales aislantes comercializados (convencionales, alternativos y avanzados) para el sector de la construcción a través de un enfoque integral y multidisciplinario, considerando las propiedades térmicas, las propiedades acústicas, la reacción al fuego y la resistencia al vapor de agua. Realizaron un análisis comparativo, considerando también materiales aislantes no convencionales, finalmente se realizó un estudio de caso evaluando tanto la transmisión térmica como las propiedades térmicas dinámicas de una pared ligera y tres de peso pesado, encontrando los diferentes tipos de materiales y formas de instalación.²⁶

En ese sentido, los materiales reconocidos y aprobados en la industria de la construcción son de vital importancia en compromiso con el medio ambiente, la responsabilidad social y el desarrollo sostenible.

Gestión del Mantenimiento

En la actualidad, optimizar el costo de mantenimiento es de preocupación en cualquier organización en este escenario competitivo. Es muy difícil predecir el costo gastado en tareas de mantenimiento. Como el rendimiento del equipo se deteriora durante un período de tiempo, disminución de eficiencia del equipo, consumo de energía aumenta, el rendimiento se reduce y se elevan los costos de operación. El costo de mantenimiento incluye la mano de obra, administración, materiales, servicios, falla y otros costos misceláneos. Una sola vez el costo se conoce como costo no recurrente²⁷.

Además, según Slah Sameta, Anis Chelbi y Faycal Ben Hmida indica que una adecuada gestión del mantenimiento garantiza una máxima disponibilidad de los equipos con costos de mantenimiento bajos, ya que cada acción de mantenimiento está asociado a un costo, tiene una duración, calidad que son medidos en base a la eficiencia del rendimiento del equipo.²⁸

De esta manera se plantea la propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento basado en la metodología RCM o (Reliability Centered Maintenance). Esta metodología se

²⁵ Cfr. Schiavoni, S.; Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. 2016: 988-1011

²⁶ Cfr. Schiavoni, S.; Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. 2016: 988-1011

²⁷ Cfr. Singh, H.&Jain, A.&Batir, R.2016:35-60

²⁸ Cfr. Sameta, Chelbi y Ben Hmida 2012: 3621

aplicará en la gestión del mantenimiento con los objetivos de reducir las paradas de máquina para la flota de equipos CAT 336dl, el tiempo de set up o (puesta a punto de máquina), tener un plan de mantenimiento de los equipos críticos y; los indicadores para la medición de los resultados del programa de mantenimiento.

Historia del mantenimiento

En la gestión del mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y operación. La primera se refiere al manejo de los recursos, a su planeación y a su control, mientras que la segunda es la realización física del servicio de mantenimiento²⁹. Respecto a los sistemas de mantenimiento el autor Mora Gutiérrez afirma:

“El esquema moderno de mantenimiento implica la vinculación de herramientas propias de la gestión, y el concepto integral se maneja desde la base de utilizar en forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta.” (Mora 2012: 38)

En los últimos 20 años, el mantenimiento ha cambiado, debido al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, además de un punto de vista de cambios en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global³⁰:

²⁹ Cfr. Mora, A. 2012: 36

³⁰ Cfr. Cárcel, F.2016:55-65

Figura N° 6: Término de Mantenimiento

Fuente: Cárcel, F. (2016) “Evolución Histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento”

En cualquier caso, podemos distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento:

1ª Generación: La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias. Se caracteriza por uso de máquinas sencillas, diseñadas para propósitos específicos, fáciles de reparar, este tipo de mantenimiento se limitaba a la limpieza y lubricación de máquinas, de manera que no era un mantenimiento sofisticado, ni se requería de un personal calificado para ejercerlo, este mantenimiento es el Correctivo. El patrón de esta generación muestra como a medida que los elementos físicos envejecen, tienen más probabilidad de fallar³¹.

Más adelante en el año 20 aproximadamente aparecieron las primeras estadísticas de fallas producidas en motores y equipos de aviación, de allí parte la preocupación de las paradas intempestivas de los equipos afectando directamente a la producción.³²

³¹ Cfr. Cárcel, F. 2016:65-80

³² Cfr. Linares 2012:8

Figura N° 7: Tiempo VS Probabilidad de falla

Fuente: Cárcel, F. (2016) “Evolución Histórica del mantenimiento industrial En relación a la gestión del conocimiento”

2ª Generación: Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se produce el auge de la mecanización suplantando a la mano de obra, se comienzan a realizar sustituciones preventivas (Sistemas de control, inspecciones y planificación de mantenimiento), este es el Mantenimiento Preventivo³³.

“Las fallas de los equipos podían prevenirse, lo que devino en el concepto de Mantenimiento Preventivo”. (Linares 2012:8)

Figura N° 8: Patrón de falla 2da generación

Fuente: Cárcel, F. (2016) “Evolución Histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento”

3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios causa efecto para averiguar el origen de los problemas. Es el Mantenimiento Predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean

³³ Cfr. Cárcel, F. 2016:65-81

inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallos³⁴.

Por lo tanto, con el advenimiento de la tercera generación se crearon dispositivos y sistemas de información que empezaron a ser utilizados para supervisar el estado de la máquina, y también se desarrollaron nuevos métodos para evaluar la condición monitorizada.³⁵

4ª Generación: Aparece en los primeros años 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: "Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos³⁶.

Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR), que es como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo costo posible³⁷.

³⁴ Cfr. Cárcel, F.2016:75-90

³⁵ Cfr. Milos 2016:747

³⁶ Cfr. Cárcel, F.2016:75-91

³⁷ Cfr. Cárcel, F.2016:75-92

Figura N° 9: Historia y Evolución de Mantenimiento

Fuente: Cárcel, F. (2016) "Evolución Histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento"

Sistema Kantiano de mantenimiento

En un sistema de gestión de mantenimiento eficiente, para que todo sistema funcione es necesario la participación de personas que manejen el conocimiento con su experiencia y capacidad para generar más conocimiento y dar solución a los problemas que surgen con los artefactos, los cuales están definidos en mantenimiento como las herramientas, los equipos, sistemas de producción, repuestos, utensilios, sistemas de información, entre otros³⁸.

La tercera variable del sistema kantiano es el entorno el cual tiene carácter intelectual, es donde se desarrolla todo el sistema y se encuentran las máquinas que hacen posible la producción de bienes o servicios. En la Figura N° 10, se observa la interacción de este enfoque³⁹.

³⁸ Cfr. Cárcel-Carrasco, F. 2015:121-130

³⁹ Cfr. Cárcel-Carrasco, F. 2015:121-130

Figura N° 10: Elementos del Enfoque Sistemático Kantiano

Fuente: Cárcel-Carrasco, F. (2015) "Industrial Maintenance Engineering and Knowledge Management. Improvement in Business Efficiency"

Niveles de mantenimiento.

El sistema kantiano plantea cuatro niveles de jerarquización para el mantenimiento y las empresas pueden desarrollarse en más de unas categorías en paralelo como se observa en la Figura N° 11.

Figura N° 11: Enfoque Sistemático Kantiano

Fuente: Cárcel-Carrasco, F. (2015) "Industrial Maintenance Engineering and Knowledge Management. Improvement in Business Efficiency"

- **Nivel 1: Instrumental:** En esta etapa, aparecen los instrumentos de mantenimiento, se contrata o entrena personal especialista con el fin de llevar a cabo las primeras acciones de mantenimiento, que son de índole correctivo. También aparecen elementos iniciales requeridos para sostener los equipos (orden de trabajo- OT, herramientas, almacén de repuestos, insumos de mantenimiento y utensilios). Este nivel se divide en tres categorías en cuanto a instrumentación: básico, genérico y avanzado genérico. En general todos los registros, documentos, data histórica de fallas, entre otros toda esta información referida a los recursos físicos e intangibles que permiten que el personal realice su función de mantenimiento⁴⁰.
- **Nivel 2: Operacional:** Se busca solucionar las paradas repentinas de los equipos y se empiezan a desarrollar acciones de prevención o predicción de fallas. Se establece un plan de mantenimiento (programa maestro) basada en todas las acciones que cumplan con los requerimientos del demandante. Se implementan mecanismos de manejo de datos que, luego, se constituyen en sistemas de información⁴¹. Teniendo como propósito monitorear, evaluar y llevar a cabo intervenciones que prevengan fallos basándose en la observación de ciertos fallos que se repite de forma regular y tienen causas claras y que por lo tanto se enfatizan.⁴²
- **Nivel 3: Táctico:** Se busca adoptar una metodología (TPM, CRM, PMO, entre otros) para el desarrollo secuencial, lógico y organizado de los conjuntos de acciones de mantenimiento que se aplican a cada situación real de las empresas⁴³. Las características fundamentales de estas metodologías de mantenimiento son bastante similares, pero sus enfoques son diferentes. el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) se originó en la industria de la aviación, y se centra en la fiabilidad de los equipos. El mantenimiento productivo total (TPM) se originó en la industria de la cadena de montaje, y se centra en la mejora de la calidad de las personas y los procesos. El mantenimiento centrado en las empresas se originó en la industria de procesos, y se centra en realizar el mantenimiento rentable para lograr los objetivos de negocio.⁴⁴

⁴⁰ Cfr. Cárcel-Carrasco, F.2015:121-130

⁴¹ Cfr. Cárcel-Carrasco, F.2015:121-130

⁴² Cfr. Opocenska y Hammer Milos 2015: 748-749

⁴³ Cfr. Cárcel-Carrasco, F.2015:121-131

⁴⁴ Cfr. Mungani y Visser 2013 3-13

- **Nivel 4: Estratégico.** Se busca evaluar los riesgos de cada parte del proceso productivo y aplicación de técnicas para evaluar el reflejo del mantenimiento en los costos de producción⁴⁵. En este punto será necesario también combinar los trabajos de los diseñadores de activos (manual del equipo) y la experiencia de los técnicos encargados del mantenimiento. Los diseñadores de los equipos invierten grandes sumas de dinero en la realización de los procedimientos de operación y como puede fallar su equipo y porque se presenta la falla, teniendo en cuenta estas consideraciones los manuales de mantenimiento tienen consigo numerosas acciones de mantenimiento preventivo que evitan diferentes modos de falla reduciendo los tiempos de paradas no programadas y utilizando de manera adecuada los recursos.⁴⁶

Tácticas de mantenimiento

Hoy en día existe diferentes enfoques de mantenimiento, a veces llamados filosofías, están actualmente disponibles en todos los métodos de producción. Las características fundamentales de estos enfoques de mantenimiento son bastante similares, pero sus enfoques son diferentes⁴⁷.

En la Tabla N° 11, se observa los diversos tipos de tácticas que existen actualmente⁴⁸

⁴⁵ Cfr. Cárcel-Carrasco, F.2015:121-131

⁴⁶ Cfr. Unzueta y otros 2014:349

⁴⁷ Cfr. Mungani y Visser 2013:1-13

⁴⁸ Cfr. Díaz-Cazañas, R..2013:91-125

Tabla N° 11: Cuadro comparativo de tácticas de mantenimiento

Tácticas de Mantenimiento	Requisitos	Objetivos	Beneficios
RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita integración de conocimientos sobre el funcionamiento de equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la confiabilidad y funcionalidad de los equipos. • Crea un espíritu crítico en todo el personal (operación - mantenimiento). • Reduce costos de mantenimiento controlando fallas en los equipos. • Contribuye a la normalización de procesos, estableciendo procedimientos de trabajo. • Busca aumento de eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es una técnica organizativa que mejora los resultados en la gestión de mantenimiento. • Analiza las fallas y averías de forma profunda mostrando el impacto de las mismas para posteriormente plantear una solución predictiva. • Genera la gestión de conocimiento de los activos.
TMP (Mantenimiento productiva total)	<ul style="list-style-type: none"> • El área de mantenimiento y producción deben estar integrados. • Compromiso directo de la alta gerencia. mantenimiento eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfocada en mejorar la productividad total, asegurando la funcionalidad de equipos y reducción de paros de máquinas. • Se basa en la implicación del equipo humano más que en la tecnología. • Busca aumento de eficiencia. 	<p>El TPM es una filosofía ventajosa que genera una cultura de trabajo en equipo y coordinación entre producción y mantenimiento.</p>
TPM & RCM	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en equipo con las áreas de mantenimiento y producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite alcanzar un manejo profundo de los instrumentos básicos y avanzados de mantenimiento, en especial del RR.HH. (TPM) y tecnológico (RCM). 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldado por un nivel de gestión que comprometa a toda la organización.
PMO (OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO)	<ul style="list-style-type: none"> • No se recomienda aplicarlo en empresas 	<ul style="list-style-type: none"> • Actúa frente a equipos críticos que atenten contra seguridad, productividad y medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Táctica ideal para equipos y maquinas en funcionamiento

Tácticas de Mantenimiento	Requisitos	Objetivos	Beneficios
	con alto rotación de personal.		orientado a la criticidad de los mismos.
PROACTIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Aplica planes de mantenimiento basados en estudios estadísticos y técnicas predictivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar significativamente la vida útil de los equipos disminuyendo las fallas antes de que ocurran. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metodología que se encarga de diagnosticar las tecnologías predictivas con el fin de optimizar la vida útil de los equipos, disminuyendo las fallas antes de que ocurran. • Es una metodología avanzada ya que aplica planes de mantenimiento en base a estudios estadísticos y técnicas predictivas.
REACTIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Alto conocimiento funcional y tecnológico de los equipos y control de procesos de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir o reparar un equipo de manera oportuna. 	<ul style="list-style-type: none"> • Táctica de mantenimiento que se aplica después de que aparece la falla. • No es efectivo para industrias que permanecen con equipos por mucho tiempo de utilización. • Orientadas a industrias que manejan la tecnología como competencia.
ORIENTADO A RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Una sólida gestión de mantenimiento y conocimiento profundo de todos los procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de mantenimiento bajo la intuición de las personas más hábiles y experimentadas en la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a satisfacer las necesidades del cliente final.

Tácticas de Mantenimiento	Requisitos	Objetivos	Beneficios
WCM (MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL)	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere alto nivel de planeación y prevención, soportado por una buena gestión de Mantenimiento • Requiere un sistema de información computarizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticiparse ante las fallas y convertir las reparaciones en actividades planeadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio en la actitud y cultura de la organización.
MANTENIMIENTO CENTRADO EN HABILIDADES Y COMPETENCIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Dominio extenso de las actividades de mantenimiento que afecta a los equipos críticos de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prestar que el recurso humano de la empresa gane habilidades y competencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera un buen clima organización de mantenimiento con recurso humano motivado al aprendizaje individual y colectivo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Díaz-Cazañas, R..2013:91-125

Para nuestro caso en particular se desarrollará como propuesta de mejora, la metodología basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad – RCM, debido a que en la actualidad empresarial en mejoras de gestión de mantenimiento, es una metodología que permite impulsar el mantenimiento, generando la investigación de cada fallo para determinar soluciones a cada incidencia encontrada y; a partir de ello, analizar el impacto económico y consecuencias de no ejecutar un adecuado plan integral de mantenimiento.

Estrategias de mantenimiento

Desde el punto de vista ecológico, el mantenimiento es la segunda rama de la conservación y se refiere a los trabajos es necesario hacer en un satisfactorio con objeto de que proporcione un servicio de calidad estipulada.

Un satisfactorio funcionamiento sólo tiene dos maneras de comportamiento (estatus) con respecto a lo que se espera de él: trabaja bien o mal, y se les asignan el siguiente nombre⁴⁹:

Si el satisfactorio está trabajando bien: **estatus preventivo**

Si el satisfactorio está trabajando mal: **preventivo estatus correctivo**

Para cada estatus existen listas, reportes y planes de las labores de conservación que es necesario hacer durante todo el ciclo de vida de un satisfactorio. En cuanto a mantenimiento, listas y planes se denominan “Estrategias generales de mantenimiento”⁵⁰, de las cuales existen dos para cada estatus como se observa en la Figura N° 12.

⁴⁹ Cfr.Dounce, E.2014:38-45

⁵⁰ Cfr.Dounce, E.2014:38-45

Figura N° 12: Taxonomía del mantenimiento

Fuente: Dounce, E. (2014) “La productividad en el mantenimiento industrial”

Estrategias de mantenimiento preventivo

Son labores documentadas, usadas para aplicar el mantenimiento preventivo y su división es la siguiente:

Mantenimiento Preventivo. Es aquel proceso de servicios periódicos al equipo, que son fijados mediante intervalos de servicio, que pueden ser horas de operación, número de cambios, etc. Inclusive, el mantenimiento preventivo se relaciona con la programación de mantenimiento con el fin de disminuir los fallos, esto es confirmado por Liudmila Shkiliova y Manuel Fernández Sánchez, tal como se expone en el párrafo siguiente:⁵¹

“Concibe la realización de intervenciones con carácter profiláctico según una programación con el objetivo de disminuir la cantidad de fallas aleatorias. No obstante, éstos no se eliminan totalmente. Con el accionar preventivo se introducen nuevos costos, pero se reducen éstos en las reparaciones, las cuales disminuyen en cantidad y complejidad”. (Shkiliova y Fernández 2011:73)

⁵¹ Cfr. Shkiliova y Fernández 2011:73

Además, el mantenimiento preventivo incluye actividades que se inician después de un período de tiempo o cantidad de uso de la máquina. Este tipo de mantenimiento depende de la probabilidad estimada de que el equipo se pare por falla en un intervalo de tiempo específico⁵². Las tareas de mantenimiento preventivo son las siguientes: Lubricación, limpieza, sustitución de piezas, aprieta y ajuste.

Por otro lado, existen dos tipos de mantenimiento preventivo de acuerdo con las actividades y periodo de revisión, la primera es la actividad de mantenimiento preventivo pasiva de corto plazo y la segunda es la actividad de mantenimiento preventivo activa de largo plazo⁵³.

El mantenimiento preventivo indirecto se debe aplicar de forma diaria, semanal, quincenal o mensual., mientras que el mantenimiento preventivo directo que se realiza trimestralmente, semestralmente o anualmente⁵⁴.

La programación del mantenimiento preventivo óptimo comprende el periodo del mantenimiento preventivo directo e indirecto, pues ambos reducen al mínimo la tasa de costo esperado conformado por el costo del MP directo, costo del MP indirecto, costo de reposición y costo de reparación mínima.

Mantenimiento Predictivo. El concepto de mantenimiento predictivo se debe entender como aquella metodología que basa las intervenciones en la máquina o instalación sobre la que se aplica, en la evolución de una determinada variable que sea realmente identificadora de su funcionamiento y fácil de medir.⁵⁵

Se basa en el pronóstico físico de las fallas de un determinado componente de la máquina a causa de la situación y cualidades con lo que efectúan los operarios las máquinas sin perjudicar el normal funcionamiento.

Este mantenimiento requiere de un diagnóstico para poder recolectar información en un tiempo aproximado a un año con la finalidad de pronosticar la posibilidad de que un componente falle. Dependiendo de las variables a controlar, la precisión y la sensibilidad del error, esta metodología puede demandar más inversión en adquisición de herramientas de medición.⁵⁶

⁵² Cfr. Colmenares, O. Villalobos, D.2014:23-27

⁵³ Cfr. Colmenares, O. Villalobos, D.2014:23-27

⁵⁴ Cfr. Colmenares, O. Villalobos, D.2014:23-28

⁵⁵ Cfr. Carnero, C. 2013: 618-618

⁵⁶ Cfr. Carnero, C. 2013: 618-618

Tabla N° 12 Beneficios de una estrategia de mantenimiento predictivo

Operador	Proveedor	Fabricante
Optimización de la programación del mantenimiento	Mejoramiento del uso de las piezas de repuesto en el almacenamiento	La información disponible del monitoreo de los sensores se puede utilizar como una herramienta de marketing
Reducción de los costos de mantenimiento	Minimización de chatarra	Evaluación del rendimiento del tren de aterrizaje sistemas
Reducción del riesgo las fallas en el servicio	Eliminación de los cuellos de botella en el uso de la máquina durante las operaciones	Un amplio conocimiento de resultados en servicio puede ser incorporado a re-diseños
El aumento de la disponibilidad	Reducción de los tiempos de respuesta	Ayuda a aumentar la confianza del operador en la incorporación de nuevas tecnologías de sustitución

Fuente: Elaboración propia a partir de Phillips, 2011

Estrategias de mantenimiento correctivo

Son labores documentadas, usadas para aplicar el mantenimiento correctivo y su división es la siguiente:

Mantenimiento Correctivo. El mantenimiento correctivo es el conjunto de tareas destinadas a corregir o remediar los defectos que se presentan en los distintos equipos a medida que se comunican al departamento de mantenimiento por los operadores o encargados del equipo.⁵⁷

Es decir, el objetivo del mantenimiento correctivo es corregir las fallas o averías en el menor tiempo posible con la finalidad de reducir los riesgos. Toda avería corregida debe ser documentada para que sirva de soporte al mantenimiento preventivo.

El principal inconveniente de este mantenimiento es debido a que el operario detecta la avería justo en el momento que sucede y se requiere del equipo, ya sea en el momento de ponerlo en marcha o durante su manejo. Se considera bajo dos formas por averías o por emergencia⁵⁸.

⁵⁷ Cfr. Herrera-Galán, M. 2016: 2-13

⁵⁸ Cfr. Herrera-Galán, M. 2016: 2-13

El mantenimiento de averías es un mantenimiento planificado que sucede debido a la paralización parcial o total de una máquina o equipo por alguna falla ocurrida durante su funcionamiento.

Un mantenimiento de emergencia es un mantenimiento no planificado que tiene como finalidad de rehabilitar la máquina o equipo averiado en el menor tiempo posible, disminuyendo así el tiempo de paro forzoso⁵⁹.

Según Liudmila Shkiliova y Manuel Fernández Sánchez indican lo siguiente acerca del mantenimiento correctivo.

“Consiste en intervenir con una acción de reparación cuando el fallo se ha producido, restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina. Concibe también acciones de limpieza y lubricación con carácter preventivo y acorde en general con recomendaciones y exigencias de los fabricantes. Las acciones de reparación se pueden clasificar en pequeñas, medias y generales.” (Shkiliova y Fernández 2011:73)

Mantenimiento Proactivo. El mantenimiento proactivo se basa en el análisis de las causas de los fallos producidos en los equipos y en la búsqueda de soluciones para evitar que las fallas se repitan con la finalidad de incrementar la confiabilidad en los equipos⁶⁰. El proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o de controlar las causas de fallas de las máquinas. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no solo el síntoma.⁶¹

Un mantenimiento proactivo bien implementado y gestionado es el método más eficaz para reducir los riesgos, mejorar la confiabilidad y garantizar la mayor rentabilidad de los activos de una planta. Al aplicar la estrategia del proactivo se obtiene los siguientes resultados:

- Eliminar fallos recurrentes
- Reducir los costos de mantenimiento
- Reducir el tiempo de paradas de máquina

⁵⁹ Cfr. Herrera-Galán, M. 2016: 2-14

⁶⁰ Cfr. García, R. 2013: 8-13

⁶¹ Cfr. García, R. 2013: 8-13

- Mejorar la calidad de sus productos
- Aumentar la vida útil de las máquinas
- Optimizar la eficiencia de la planta
- Mejorar la planificación
- Capacitar al personal⁶²

Además, el mantenimiento proactivo es considerado otro nivel más alto de mantenimiento. Es completamente basado en el mantenimiento predictivo anterior que mejora aún más de manera que su base es la utilización de técnicas de diagnóstico más complejas. Básicamente se trata de la versión actual superior de mantenimiento predictivo basado en la condición real del artículo operado.⁶³

El mantenimiento proactivo surgió a partir del tipo de mantenimiento predictivo como una reacción especialmente a largo plazo hallazgos de que un cierto grupo de fallos repite periódicamente de causas claras⁶⁴. Las causas conocidas incluyen principalmente lo siguiente:

- Incorrectamente organizada trabajos de mantenimiento.
- Mantenimiento realizado incorrectamente (operación técnica en el vehículo).
- Operadores y personal de mantenimiento no cualificado. (Furch 2012: 86)

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Historia del RCM

La confiabilidad, como un campo individual, se separó del control estadístico de la calidad en la década de 1950, con el crecimiento de las industrias en Estados Unidos. El

⁶² Cfr. García, R. 2013: 8-13

⁶³ Cfr. Jain y otros 2016:39

⁶⁴ Cfr. Furch 2012:85

Departamento de Defensa se interesó mucho en estudios de confiabilidad al apreciar, que había un grave problema con la fiabilidad de componentes y sistemas militares⁶⁵.

El costo anual de mantener algunos sistemas militares en condición operativa ha costado hasta 10 veces el valor original del equipo.

El control estadístico de la calidad de ocupa de monitorear los procesos para asegurar para asegurar que el producto se apegue a las especificaciones. Las variables aleatorias de interés son la cantidad de defectos y el grado de variación de apego a las normas. En la confiabilidad se examina el desempeño de un producto a través del tiempo. Las variables aleatorias son el tiempo transcurrido entre fallas, una vez que el producto se pone en servicio. La confiabilidad es la probabilidad de que un producto funcione en forma correcta durante un período dado, en su desempeño previsto⁶⁶.

Se han encontrado evidencias del desarrollo del RCM en el departamento de defensa de EE.UU., en el año 1978, por F. Satanley Nowtan y Howard Heap quienes escribieron por primeras ves su trabajo bajo el nombre “Realibility Centered Maintenance” (RCM). Bajo estas circunstancias de origen, el RCM fue elaborado con el propósito de ayudar a las líneas aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones antes de que estos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM permite desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para reducir la documentación existente, así como ahorra en errores y pruebas costosas que se desarrollan comúnmente en la planificación el mantenimiento⁶⁷.

Además, Jesús Barros, Guillermo Valencia y Lisandro Vargas indican sobre la historia del RCM lo siguiente:

“El MCC/RCM fue desarrollo por la industria de la aviación civil en los Estados Unidos. La Federal Aviation Administration (FAA) de Estados Unidos comisionó a la empresa United Airlines realizó un estudio de qué tan eficiente eran las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas (conjunto de equipos) en las aeronaves civiles. Este estudio confirmaría o no la creencia de que estas reparaciones generales basadas en el tiempo no contribuían mucho para reducir la frecuencia de las fallas y no eran económicas. Este estudio se llevó a cabo en un momento dónde se estaban diseñando aeronaves de cuerpo amplio, y la complejidad de los sistemas de los equipos y sus

⁶⁵ Cfr.Nahmias, S.2014. 665

⁶⁶ Cfr.Nahmias, S.2014. 665

⁶⁷ Cfr. García 2016:25-35

componentes habrían crecido dramáticamente con respecto a los diseños anteriores.” (Barros, Valencia y Vargas, 2014:201)

Concepto del RCM

Es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser implementado a cualquier instalación industrial, es útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

Consiste en analizar las funciones de los sistemas que conforman una máquina y detectar sus posibles fallas o causas de falla, para luego estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias y a partir de ello determinar las estrategias más adecuadas al contexto de operación y viable económicamente⁶⁸.

Como resultado, el RCM permite desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para reducir la documentación existente, así como ahorra en errores y pruebas costosas que se desarrollan comúnmente en la planificación el mantenimiento⁶⁹.

Entonces podemos definir RCM, como:

"enfoque sistémico para diseñar programas que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo, para ello combina aplicaciones técnicas de mantenimiento autónomo, preventivo, predictivo y proactivo, mediante estrategias justificadas técnica y económicamente” (Garitano-Aranda 2014)

La filosofía del RCM se fundamenta en:

- La evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- La identificación de los componentes críticos.
- La aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Permanente revisión y análisis de equipos⁷⁰.

⁶⁸ Cfr. Garitano-Aranda, J.&Goti-Elordi, A.2014:347-354

⁶⁹ Cfr. Garitano-Aranda, J.&Goti-Elordi, A.2014:347-354

⁷⁰ Cfr. Garitano-Aranda, J.&Goti-Elordi, A.2014:347-354

Importancia del RCM

Antes de identificar la importancia de aplicar el RCM, primero debemos conocer cuál es el objetivo de aplicar esta metodología.

El objetivo básico de aplicar RCM consiste en incrementar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos, permitiendo que los equipos trabajen dentro de los estándares establecidos por el fabricante. Actualmente este objetivo es alcanzado con éxito aplicando la metodología RCM, debido a que su alcance va desde conocer al equipo hasta analizar los modos de fallo de estos⁷¹.

Como principales ventajas que obtenemos al aplicar esta metodología tenemos⁷²:

- Elaboración de manuales de operación y mantenimiento que permitirán una alta disponibilidad de los equipos.
- El resultado del análisis es fácil de entender por todos los involucrados en el mantenimiento.
- Brinda mayor seguridad e integridad ambiental, pues previene o elimina riesgos ambientales y de seguridad.
- Mejora el funcionamiento operacional; mejora la cantidad de producción, la calidad del producto y el servicio al cliente.
- Alarga la vida útil de los equipos.

Por otro lado, entre las principales desventajas tenemos:

- La inversión inicial es bastante alta.
- El proceso de implementación es a mediano plazo.

Beneficios del RCM

Los beneficios o ventajas que distintos autores mencionan sobre la implementación del RCM en plantas industriales son resumidos por Fore y Msipha (2010) en los siguientes:

⁷¹ Cfr. Linares, L.2012:7-14

⁷² Cfr. Linares, L.2012:7-14

- Puede ser el programa de mantenimiento más eficiente
- Reduce los costes de mantenimiento mediante la eliminación de equipo innecesario
- Se reduce al mínimo la frecuencia de reparaciones
- Reduce la probabilidad de fallas en los equipos repentinos
- Se centra las actividades de mantenimiento en componentes críticos del sistema
- Aumenta la fiabilidad de los componentes
- Incorpora análisis de causa raíz

Además, Lee Kirby (2012) en su artículo RCM como nuevo enfoque nos indica que los beneficios de la implementación del RCM en el entorno de centro de datos son convincentes y ya se han probado incluso en las áreas más exigentes de la industria aérea. Para los administradores de centros de datos, los beneficios y/o ventajas incluyen:⁷³

- Desempeño mejorado se da cuando las organizaciones de mantenimiento pueden centrarse solo en los elementos de los equipos más críticos, con listas de trabajo más cortos, reduciendo extensos y costosos paros. Entonces, habrá menos problemas de reemplazos innecesarios y mejorará la relación de los componentes no fiables.⁷⁴
- Mejor calidad se da con la disciplina de recolección de resultados del RCM en una comprensión de la capacidad del equipo y la redefinición de los procedimientos de los equipos con una definición más clara de las tareas y los objetivos de mantenimiento.⁷⁵
- Rentabilidad utilizando un enfoque RCM se reduce drásticamente el mantenimiento de rutina innecesaria, también ayuda a prevenir o eliminar las fallas costosas, e introduce pautas de decisión para la adquisición de nuevas tecnologías.⁷⁶

⁷³ Cfr. Kirby 2012: 61

⁷⁴ Cfr. Kirby 2012: 61

⁷⁵ Cfr. Kirby 2012: 61

⁷⁶ Cfr. Kirby 2012: 61

- Los costos del ciclo de vida, el RCM reduce los costos del ciclo de vida mediante la optimización de las cargas de trabajo de mantenimiento y proporciona una visión más clara de los repuestos y las necesidades del personal.⁷⁷

Es por ello, que las técnicas de RCM son eficaces porque implican que se realiza de manera continua el mantenimiento periódico que incluye inspecciones, reparaciones y controles de rendimiento; además el mantenimiento basado en la condición puede ayudar en la prevención de fallas en los equipos; y de gestión de fallos de mantenimiento.⁷⁸

Base Normativa del RCM

SAE JA1011 establece los criterios que deben cumplir un proceso de RCM, sin embargo, no es una regla estricta que determine que procesos son o no son RCM solo busca asegurar el correcto uso del término RCM.

La SAE JA1012 (2002) busca ser una base de documentos hecho por profesionales experimentados para que cada persona que piensa implementar el RCM pueda sacar sus propias conclusiones.

La norma UNE 20812 muestra la técnica AMEF (análisis de modo y efecto de fallas) y se basa en un proceso sistemático y documentado de análisis cualitativo.

La norma SAE JA1011 plantea 7 preguntas básicas para el proceso de RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

⁷⁷ Cfr. Kirby 2012: 62

⁷⁸ Cfr. Marten 2010:25

Después de responder las anteriores preguntas, podremos tener un mejor panorama de los objetivos a cumplir y las metas a alcanzar⁷⁹.

El trabajo es realizado por equipos de trabajo multifuncionales con participación de operadores, técnicos, ingeniería, seguridad y ambiente, así como especialistas cuando sean requeridos (proceso, instrumentos, HSE, entre otros.), el grupo está entre 5 y 7 personas como máximo, dirigidos por un facilitador quien en realidad es un experto en RCM.

Por lo tanto, se deduce que, usando un método lógico, estructurado y sistemático con representantes de diferentes departamentos de la empresa, el conocimiento se comparte y el plan de mantenimiento saldrá de un consenso de los responsables de la gestión de los equipos.

Respondiendo a cada pregunta en el punto, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

El primer paso para el proceso de RCM es determinar el contexto operacional de cada activo físico se debe conocer las funciones específicas que los clientes esperan que realice y su capacidad de poder cumplirlas, con el objetivo de garantizar su funcionalidad y operatividad dentro de un proceso para el cual fue adquirido⁸⁰.

Por ello el RCM inicia definiendo sus funciones en el contexto operacional y para ello lo separa en dos categorías:

- **Funciones primarias**. que son las necesidades de la adquisición del activo en temas como velocidad, calidad de producto, capacidad de producción, entre otros⁸¹.
- **Funciones secundarias**. es lo que se espera del activo aparte de sus funciones primarias desde apariencia del activo hasta eficiencia operacional⁸².

2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

⁷⁹ Cfr. Ardila, M.&Ardila, J. Rodriguez, D. 2016,127-142

⁸⁰ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

⁸¹ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

⁸² Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

Fallas funcionales. Se presentan cuando el activo no cumple con las funciones que el cliente tiene establecido o las cumple parcialmente con niveles inaceptables. El RCM categoriza las fallas funcionales en dos niveles⁸³:

- Identifica las causas que lo llevaron a la falla.
- Analiza que eventos contribuyen a la falla del activo.

3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

Modos de falla. Son los hechos que ocasionan la aparición de una falla funcional, de las cuales tiene conocimiento el personal de mantenimiento que las trata, así como los modos de fallas oculto que aún no aparecen.

Los modos de falla tradicionalmente se deben al desgaste de uso de los activos, a la interacción de los equipos con los operadores y personal de mantenimiento, y errores de diseño. En esta etapa se analizan y se detallan todas las causas posibles⁸⁴.

Efectos de falla. Una vez identificado las fallas de los activos se proceden a listar los efectos de cada falla identificada, la cual nos servirá de soporte para el siguiente paso que son las consecuencias de la falla.

Para evaluación de los efectos de falla se pueden plantear las siguientes preguntas⁸⁵:

- ¿Qué evidencia existe de la falla?
- ¿Representa una amenaza para la seguridad en el trabajo o el medio ambiente?
- ¿Afecta a la producción u operaciones? ¿De qué manera las afecta?
- De haber causado daños físicos ¿cuáles han sido?
- ¿Qué acciones deben hacerse para reparar la falla?

Este paso contribuye a la gestión de conocimiento de los activos en su función, seguridad y eliminación de fallas.

4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

⁸³ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

⁸⁴ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

⁸⁵ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-13

Este paso implica los efectos del fallo, que describen lo que sucede, cuando se produce cada modo de fallo. Moubray (1997) afirma que estas descripciones deben incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias.⁸⁶

Todas estas fallas de los activos afectan de algún modo a la organización con efectos diferentes en calidad del producto, producción, servicio al cliente, operaciones, seguridad y medio ambiente. Todas estas consecuencias se ven reflejadas y cuantificadas en dinero que la organización deja de percibir⁸⁷.

Es aquí en donde el RCM juega un papel importante ya que disminuye y controla las fallas para disminuir las consecuencias que afectan a la organización para ello el RCM lo clasifica en cuatro grupos⁸⁸:

- **Consecuencias de fallas no evidentes.** Estas consecuencias están asociadas en su mayoría a elementos de protección.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad.** Son las consecuencias que provocan accidentes o daños al medio ambiente según la normativa establecida.
- **Consecuencias operacionales.** Son las consecuencias que afectan la producción (calidad del producto, servicio al cliente, costos de producción y costos de mantenimiento).
- **Consecuencias no-operacionales.**

5 ¿En qué sentido es importante cada falla?

En la mayoría de los casos los modos de fallas son discutidos, registrados y manejados luego de haber ocurrido. Tratar la falla después de hayan ocurridos es por supuesto la esencia de mantenimiento reactivo⁸⁹.

Por otro lado, el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir cómo deberían ser manejados si llegan a ocurrir.

Para ello debemos saber por adelantado que eventos pueden ocurrir: “Los eventos” en este contexto son los modos de falla. Entonces si deseamos aplicar un mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos

⁸⁶ Cfr. Fore y Msipha 2010:214

⁸⁷ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-14

⁸⁸ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-14

⁸⁹ Cfr. Duany-Alfonso, Y. 2016:2-14

los modos de falla que pueden afectarlo. El ideal sería identificarlos antes de que ocurriesen o al menos antes de que vuelvan a ocurrir.

Una vez que cada modo de falla haya sido identificado es posible considerar que sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si debería hacerse algo para anticipar, proveer, detectar, corregir o hasta rediseñar.

6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

Se evalúan las fallas funcionales encontradas, para luego plantear las tareas preventivas.

“Para la revisión de la historia operacional se estudiaron los informes de deficiencias (ID) de los componentes críticos del sistema, considerando que el análisis de la historia operacional se realiza con carácter conservador, compensando así la mala calidad de la documentación. Además, se tuvo en cuenta la experiencia de los mantenedores de los equipos.” (Torres y Otros, 2010:28)

Análisis de criticidad. Es una metodología⁹⁰ que permite jerarquizar sistemas, instalaciones, equipo y componentes de equipos, en función de su impacto global, con el fin de mejorar el proceso de asignación de recursos. Este análisis, como se observa en la Tabla N° 12, se ubica en tres categorías: no crítico (NC), media criticidad (MC) y crítico (C), los cuales se obtiene del producto de frecuencia de fallas y las consecuencias que estas causan según los criterios: de seguridad del personal, impacto ambiental, impacto en la producción, mantenimiento, flexibilidad de adquisición de repuestos, costos y mantenibilidad.

Tabla N° 13: Categoría del análisis de criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

⁹⁰ Cfr. Mendoza, H. 2012:13-19

Fuente: *Mendoza, H. (2012) "Criticality analysis, a methodology to improve the operational reliability"*

Además, Israel Gondres, Santiago Choy y Alfredo del castillo nos indica en su artículo de la "Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma NORZOK Z-013" que es un método clásico en la evaluación de criticidad.

La norma Norzok Z-013 propone un análisis de criticidad cualitativo cuando no se cuenta con información al detalle de la configuración de las partes o las tasas de fallos y si se tiene dicha información propone un análisis de criticidad cuantitativo.⁹¹

Por consiguiente, si se cuenta con la frecuencia de falla (f) y las consecuencias de un determinado activo, se puede determinar su nivel de criticidad en un tiempo (t) de operación, debido a los modos de falla que están en una determinada categoría de severidad ⁹²

El análisis de criticidad según la norma Norzok Z-013 tiene como principal objetivo establecer un método para la jerarquización de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja. La evaluación de la criticidad queda definida de la siguiente forma matemática:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

- **Determinación de los indicadores a tener en cuenta para el análisis de criticidad**

1. Frecuencia de fallos (FF)

la frecuencia de fallos de un equipo es la cantidad de fallas que presenta en un periodo (T)

$$f = \frac{N}{T}$$

Dónde:

f: Frecuencia de fallos (fallos/año)

N: Número total de fallos del interruptor en el período de estudio

T: Período de estudio en años

2. Tiempo promedio para reparar (TPPR)

El tiempo promedio para reparar queda determinado como la distribución del tiempo para la reparación de un equipo o sistema.

⁹¹ Cfr. Gondres, Lajes y Del Castillo 2016:199

⁹² Cfr. Gondres, Lajes y Del Castillo 2016:199

$$TPPR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Número de fallos}}$$

3. Costo del mantenimiento (CM)

El costo de mantenimiento es aquel costo parcial que varía de acuerdo con el tiempo en que se realiza el mantenimiento.⁹³

4. Impacto en la seguridad (IS)

“El impacto en la seguridad personal considera la posibilidad de la ocurrencia de eventos no deseados que ocasionen daños al personal al ocurrir un fallo (...)”. (Gondres, Lajes y Del Castillo 2016:200)

5. Impacto ambiental (IA)

“El impacto ambiental considera la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al medio ambiente como consecuencia de la ocurrencia de un fallo (...)”. (Gondres, Lajes y Del Castillo 2016:200)

Entonces la ecuación de criticidad queda definida de la siguiente manera

$$\text{Criticidad} = FF * (TPPR + CM + IS + IA)$$

Tabla N° 14: Guía y criterios de evaluación para el análisis de criticidad

Guía de criticidad	
Frecuencia de fallos (FF)	
Entre 0 y 2,9 fallos/año	1
Entre 2,9 y 5,81 fallos/año	3
Entre 5,81 y 8 fallos/año	4
Más de 8 fallos/año	6
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	
Entre 0 y 5,57 horas/año	1
Entre 5,57 y 14,14 horas/año	2
Entre 14,14 y 38,57 horas/año	4
Más de 38,57 horas/año	6
Costo de mantenimiento (CM)	
Menos de US\$300	1
Entre US\$ 300 y US\$ 500	5
Entre US\$ 500 y US\$ 800	10
Más de US\$ 800	25
Impacto en la seguridad personal (IS)	
Si	35
No	0
Impacto ambiental (IA)	
Si	30
No	0

Fuente: Traducción propia a partir de Gondres, Lajes y Del Castillo 2016

⁹³ Cfr. Gondres, Lajes y Del Castillo 2016:200

Análisis de modo y efecto de fallas – AMEF. Es una metodología que se desarrolla mediante un conjunto de actividades sistemáticas que buscan identificar y evaluar la falla potencial de un proceso o producto. Estas fallas son evaluadas bajo un factor que se calcula con la metodología del riesgo de AMEF (NPR: Número de prioridad de riesgo) en el cual se logra identificar las fallas potenciales con mayor probabilidad de ocurrencia y a las cuales se aplica acciones⁹⁴.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son⁹⁵:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial
- Analizar la confiabilidad del sistema
- Documentar el proceso.

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, y así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

Para hacer un AMEF se requiere lo siguiente:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, entre otros

⁹⁴ Cfr. Alonso, J.2012 -6-20

⁹⁵ Cfr. Alonso, J.2012 -6-20

- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar⁹⁶.

Selección de actividades de mantenimiento. Después de aplicar la herramienta AMEF, se debe seleccionar el tipo de mantenimiento a aplicar de acuerdo con el tipo de falla encontrado, para ello se utiliza la herramienta árbol lógico de decisión, como se muestra en la Figura N° 12, el cual fue diseñado por el RCM y permite tomar una decisión sobre la elección del tipo de mantenimiento a aplicar disminuyendo la ocurrencia de la falla y sus efectos⁹⁷. El tipo de mantenimiento pueden ser: Proactivo, Correctivo, Predictivo y Preventivo.

En este punto será necesario también combinar los trabajos de los diseñadores de activos (manual del equipo) y la experiencia de los técnicos encargados del mantenimiento. Los diseñadores de los equipos invierten grandes sumas de dinero en la realización de los procedimientos de operación y como puede fallar su equipo y porque se presenta la falla, teniendo en cuenta estas consideraciones los manuales de mantenimiento tienen consigo numerosas acciones de mantenimiento preventivo que evitan diferentes modos de falla reduciendo los tiempos de paradas no programadas y utilizando de manera adecuada los recursos.⁹⁸

⁹⁶ Cfr. Alonso, J.2012 -6-20

⁹⁷ Cfr. Díaz-Concepción, A.& Cabrera, J. 2016:117-142

⁹⁸ Cfr. Unzueta y otros 2014:349

Figura N° 13: Árbol de decisión de actividad de mantenimiento

Fuente: Díaz-Concepción, A. & Cabrera, J. (2016) "Implementation of Reliability Centered Maintenance in electrical transmission companies"

Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total (TPM) es un sistema que se emplea para mantener y mejorar los procesos de producción y la calidad por medio de las máquinas, equipos y trabajadores que agregan valor comercial a la organización. Los resultados de implementar TPM son satisfactorios, ya que mejora la productividad, la calidad y reduce los costos. Por ende, el sistema de TPM optimiza la efectividad de los equipos (OEE), ya que elimina averías y con ello fomenta de realizar el mantenimiento autónomo esto se da por medio de las actividades de día a día⁹⁹.

Los objetivos del TPM son:

- Aumentar la productividad de la planta y el equipo, donde su inversión no es costosa.
- Desarrollar política, estrategias y actividades de gestión con el fin de garantizar el mantenimiento de sus equipos.
- Desarrollar el sistema de mantenimiento autónomo con el fin potenciar la producción de los operadores y con ello de cuidar las condiciones y efectividad del trabajo de los equipos.
- Desarrollar un mantenimiento planificado de las máquinas y equipos.
- Capacitar a los operadores y al personal de mantenimiento con el fin de mejorar sus conocimientos relacionado con los equipos.
- Establecer prácticas de seguridad con el objetivo de prevenir los efectos ambientales desfavorables que pueda suceder.¹⁰⁰

Por otro lado, en el artículo “Barreras y facilitadores de la implantación del TPM” nos muestra información de que el Japan Institute of Productive Maintenance (JIPM) por medio de una certificación del premio PM de las organizaciones que implantan el TPM que ofrece dos versiones del TPM. A continuación, se va detallar las dos versiones:

1. La versión original “Production TPM” lanzada en el año 1971 donde se tiene opción de obtener el “Award for PM Excellence” de categoría 1 o 2 en esta versión solo considera 5 pilares que son:

⁹⁹ Cfr. Prabhuswamy, Nagesh, Ravikumar 2013:7-8

¹⁰⁰ Cfr. Prabhuswamy, Nagesh, Ravikumar 2013:7-8

- Pilar 1: Entrenamiento
 - Pilar 2: Mantenimiento Autónomo
 - Pilar 3: Mejora Enfocada
 - Pilar 4: Mantenimiento Planificado
 - Pilar 5: Establecer un programa de gestión inicial para equipos
2. La otra versión extendida “Company Wide TPM” que fue adoptada en el año 1989 que viene ser la continuación de la implementación de TPM, donde se adiciona tres pilares que son:
- Pilar 6: Establecimiento de sistema de mantenimiento de la Calidad
 - Pilar 7: Establecer un sistema para mejora de la eficiencia de las áreas administrativas
 - Pilar 8: Establecer un sistema para el control de la seguridad y Salud, y Medioambiente¹⁰¹

Como se aprecia las dos versiones de implementación de TPM que la primera versión la empresa que implementa obtiene “Special Award” y con la continuación de la siguiente versión obtiene “World Class Award”, pero de acuerdo a la investigación de este artículo, donde nos informa que la mayoría de las empresas optan por la primera versión esto se debe por el alcance de la mayoría de las empresas que están ligadas a “Production TPM”. Además, existen autores que solo consideran para la implementación de TPM los pasos de 7 a 8, ya que en estos pasos están los pilares del 1 al 5 y por ellos los definen los pilares interdependientes.¹⁰²

¹⁰¹ Cfr. Marin, Martinez 2013: 829

¹⁰² Cfr. Marin, Martinez 2013: 833

Indicadores de Gestión de Mantenimiento

Todas las empresas requieren de indicadores que midan el desempeño de su gestión y operación, ya que estos indican la eficacia y/o eficiencia de todo el sistema real. Todo lo que es medido es controlado y contribuye a la mejora continua para alcanzar un objetivo particular de cada sistema. Entre los indicadores de gestión de mantenimiento y control de las operaciones se encuentran¹⁰³.

Disponibilidad operativa. Es la probabilidad que el equipo funcione y sea útil para la producción después del comienzo de su operación.

$$D = \frac{T_0 - T_{pp} - T_{pr}}{T_0}$$

Donde:

T₀= Tiempo total de operación.

T_{pp}= Tiempo total de paradas programadas para mantenimiento proactivo, también se incluyen las reparaciones programadas u overhaul.

T_{opar}= Tiempo total de paradas de mantenimiento reactivo (no programadas).

MTTR. Es el tiempo promedio de reparación de los equipos tras la falla.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación por falla}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

MTBF. El tiempo promedio entre una falla de un equipo y la aparición de la siguiente falla. Es el tiempo en el cual se dispone del equipo antes de que ocurra la siguiente falla.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

Disponibilidad y confiabilidad. La disponibilidad inherente depende de la frecuencia de fallas y del tiempo demandado de estas, para regresar a la función operativa de la máquina. Así se tiene:

$$A_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

¹⁰³ Cfr. Fernández. & Shkiliova, L. 2012:72-79

Enfoque de Mejora Continua

Concepto de Mejora Continua

Según la Norma ISO (9001:2015), la Mejora Continua es “una actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos”. El Mejoramiento Continuo, es un ejemplo de calidad total y de competitividad. La administración de la calidad total requiere de un proceso constante, llamado mejoramiento continuo, donde la perfección nunca se logra, pero siempre se busca.¹⁰⁴

El mejoramiento continuo, es un proceso que describe muy bien lo que es la esencia de la calidad y refleja lo que las empresas necesitan hacer si quieren ser competitivas a lo largo del tiempo. La mejora continua e incremental, es un proceso de renovación continua realizado a través de pequeños pasos que sirven para perfeccionar los estándares existentes, estando a cargo de todos los niveles de la empresa.¹⁰⁵ En la Figura N° 13 se puede observar el ciclo de mejora continua del sistema de gestión calidad.

Figura N° 14: Mejora Continua del Sistema de Gestión de la calidad

Elaboración: Propia; Fuente: Norma ISO 9001:2015

Según la Norma (ISO 9001:2015) es una herramienta de mejora continua que aplica los siguientes pasos para el logro de sus objetivos.

¹⁰⁴ Cfr. Norma ISO 9001:2015

¹⁰⁵ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

Planificar (Plan): Establecer los objetivos del sistema y sus procesos, y los recursos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización e identificar y abordar los riesgos y las oportunidades.

Hacer (Do): Implementar lo planificado.

Verificar (Check): Realizar el seguimiento y (cuando sea aplicable) la medición de los procesos y los productos.

Actuar (Act): Tomar acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario.

En la Figura N° 15, se muestra la interacción del ciclo PHVA, desde su activación por el requerimiento del cliente hasta la obtención de productos o servicios que satisfagan sus expectativas.

Figura N° 15: Ciclo PHVA

Elaboración: Propia; Fuente: Norma ISO 9001:2015

La importancia de esta metodología radica en que con su aplicación se puede contribuir a mejorar las debilidades y afianzar las fortalezas de la organización. A través del mejoramiento continuo, se logra ser más productivo y competitivo en el mercado al cual pertenece la organización, por otra parte, las organizaciones deben analizar los procesos utilizados, de manera tal que, si existe algún inconveniente, pueda mejorarse o corregirse; como resultado de su aplicación la organización será más competitiva en el mercado¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

Herramientas de Mejora Continua

Según D'Alessio (2015) forman parte de las herramientas de mejora continua la que se describen a continuación:

- **Diagrama de Flujo.** Los diagramas de flujo son una manera de representar visualmente el flujo de datos a través de sistemas de tratamiento de información. Los diagramas de flujo describen que operaciones y en que secuencia se requieren para solucionar un problema dado¹⁰⁷.

Es una cadena de diferentes símbolos que representan actividades relacionadas secuencialmente que pretende mostrar un proceso de modo simple y gráfico¹⁰⁸. Utiliza una simbología estandarizada y permite explicar a terceros como se relaciona un trabajo con otras actividades en la empresa como se observa en la Figura N° 16.

Figura N° 16: Diagrama de Flujo

Elaboración: Propia; Fuente: Empresa Acqua Ice S.A.

- **Diagrama SIPOIC.** El Diagrama de SIPOC, por sus siglas en inglés es “Supplier - Input – Process – Output - Customer” es la representación gráfica de un proceso de gestión, permite visualizar el proceso de una manera sencilla identificando los

¹⁰⁷ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

¹⁰⁸ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

Figura N° 17: Diagrama SIPOC

Elaboración: Propia; Fuente: “Administración de Operaciones” (2015). D’Alessio, F.

- El SIPOC, nos diseña de una vista general el flujo del proceso y sus relaciones dentro de la organización, además muestra características como límites, punto de inicio y final del proceso y las propuestas mejoras.
- **Cuestionario para el diagnóstico del proceso.** Consta de nueve preguntas que tienen como finalidad identificar la percepción que tiene el personal que opera el proceso de la efectividad de sus factores. Las preguntas no pueden ser respondidas con una sola palabra. Las preguntas son¹⁰⁹:
 - ¿Qué objetivo del proceso no se está cumpliendo?
 - De acuerdo con su percepción, ¿las características de los productos o servicios cumplen con los estándares establecidos?

¹⁰⁹ Cfr. Gillet, F.:2014

- De acuerdo con su percepción, ¿los productos o servicios satisfacen las necesidades de sus clientes y partes interesadas?
 - ¿El proceso tiene una clara relación con la misión, visión, objetivos estratégicos y políticas de la institución?
 - ¿Considera usted que el proceso cuenta con controles que permiten identificar variaciones en su desempeño?
 - ¿Se están ejecutando acciones de mejora en el proceso actualmente?
 - ¿Cuáles considera usted que son los problemas principales en el proceso seleccionado?
 - ¿Cómo considera usted que debería operar el proceso seleccionado (en cuanto a tiempo, costo, productividad, etc.)?
 - ¿Cuáles considera usted que son las diferencias entre la forma en que actualmente opera el proceso y la forma en que debiera operar?¹¹⁰
- **Diagrama de Árbol.** Es una técnica empleada con el objeto de relacionar medios y fines, o bien fines que son medios para alcanzar otros fines más generales. Para su ejecución se aplica los siguientes pasos¹¹¹:
 - Definición del fin que es objeto de estudio, de forma sencilla, pero dejando claro el propósito del mismo. Si fuera necesario, también se especifican los posibles condicionantes en la definición, pues van a limitar el proceso de resolución. Por ejemplo: Aumentar la capacidad de producción.
 - Determinación del enfoque a emplear para la identificación de los medios necesarios para lograr el fin. Para ello, puede emplearse:
 - *Una clasificación lógica*, identificando los medios principales, que a su vez se convertirán en fines; el proceso continúa identificando a su vez, para aquellos últimos los medios secundarios. *El brainstorming*, donde se debe tener en cuenta:

¹¹⁰ Cfr. Gillet, F.:2014

¹¹¹ Cfr. González, C.& Domingo, R. & Pérez, M.: 2014

- Valoración de cada uno de los medios principales, para garantizar que todos ellos contribuyan a lograr el fin último, teniendo en cuenta su factibilidad.
- Obtención de los medios secundarios que contribuyen a alcanzar los primarios y comprobación de que todos ellos se encuentran en el nivel adecuado.

Esta herramienta es útil para la planificación de cualquier tipo de actividades, pero requiere de un análisis profundo del problema para asegurar que las conclusiones alcanzadas no son erróneas y no existen medios que hayan sido considerados superficialmente. Ante cualquier escenario, permite identificar mejoras y hallar las causas de los problemas, de forma similar al Diagrama Causa-Efecto¹¹².

- **Diagrama de Actividades del Proceso (DAP).** Esta herramienta nos permite identificar de manera gráfica aquellas actividades del proceso que no agregan valor y las áreas de oportunidad para implementar acciones de mejora, como se muestra en la Tabla N° 14. Es una de las herramientas más gráficas y consistentes en información, ya que detalla al proceso con todas las actividades que se efectúan, así como los recursos usados y el tipo de actividad¹¹³. La mecánica de aplicación de esta herramienta consiste en¹¹⁴:

- Diagramar el proceso y listar sus actividades.
- Identificar el tipo de operación que se realiza en cada actividad (Operación, - Demora, Revisión, Traslado Archivo).
- Identificar el tiempo que se utiliza para desarrollar cada actividad.
- Identificar los recursos que se utilizan.
- Identificar si la actividad agrega o no agrega valor.¹¹⁵

¹¹² Cfr. González, C. & Domingo, R. & Pérez, M.: 2014

¹¹³ Cfr. Alonso, C.: 2014

¹¹⁴ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

¹¹⁵ Cfr. D'Alessio, F.: 2015

Tabla N° 15: Diagrama Analítico del Proceso

PASO	ACTIVIDAD	GERENCIA / AREA	MANUAL / AUTOMATIZADO	TIEMPO MINUTOS	TIEMPO DÍAS	CONTADOR DE RECURSOS					TIPO DE ACTIVIDAD					TIPO DE VALOR AGREGADO		
						RECURSOS HUMANOS					OPERACIÓN	REVISIÓN	TRASLADO	ESPERA	ARCHIVO	VA	CONTROL	SVA
						R1	R2	R3	R4	R5								
TOTAL				0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración: Propia; Fuente: “Administración de Operaciones” (2015). D’Alessio, F.

- **Matriz de valor agregado.** Es una herramienta que permite analizar cada una de las actividades del proceso a partir de dos dimensiones¹¹⁶:
 - Agrega o no valor al proceso
 - Es o no necesaria en el proceso

La interacción de estas dos dimensiones se muestra en la Tabla N° 15.

Tabla N° 16: Matriz de Valor Agregado

		¿AGREGA VALOR?	
		Sí	No
¿NECESARIA?	Sí	MEJORAR IMPLEMENTAR	OPTIMIZAR
	No	TRANSFERIR	ELIMINAR

Elaboración: Propia; Fuente: “Impacto de la norma ISO en la ingeniería” (2015). Otero, M.

¹¹⁶ Cfr. Cuatrecasas, L. :2014

- **Eliminar.** La primera y más importante preocupación de este método es eliminar todo lo que no sea absolutamente necesario. Cualquier operación, cualquier paso, cualquier detalle que no sea indispensable, deben ser eliminados.
- **Transferir.** Si no puede eliminar algo, entonces el siguiente punto es transferir o combinar algún paso del procedimiento con otro, a efecto de simplificar el trámite. Cuando se combina, generalmente se eliminan algunos detalles, como un registro, una operación, entre otros.¹¹⁷
- **Optimizar.** En este punto debe revisarse si algún cambio que pueda hacerse en el orden, el lugar o la persona que realiza una actividad puede simplificar el trabajo. Los procedimientos pueden simplificarse cambiando la secuencia de las operaciones, modificando o cambiando el lugar, o sustituyendo a la persona que realiza determinada actividad.
- **Mejorar.** Algunas veces es imposible eliminar, transferir u optimizar; en estas circunstancias el resultado más práctico se logra mejorando el procedimiento; rediseñando una forma, un registro o un informe; haciendo alguna mejora al instrumento o equipo empleado, o encontrando un método mejor.
- **Implementar.** - Consiste en las actividades que, como resultado del análisis, no fueron susceptibles de eliminar, combinar, cambiar o mejorar y; que requiere una implementación de un método (ej.: desarrollo de un módulo de presupuesto en software)¹¹⁸
- **Diagrama de Pareto.** Esta herramienta permite determinar que, para muchos eventos, aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. Esto significa que hay pocas variables vitales que afectan mucho al sistema¹¹⁹. Los pasos son:
 - Determinar el tiempo que se asignará para recabar datos, puede ser el caso de que solo se requieran unas cuantas horas o también varios días. Si se hacen consideraciones minuciosas se asegurará un mínimo de problemas más adelante.

¹¹⁷ Cfr. Cuatrecasas, L. :2014

¹¹⁸ Cfr. Cuatrecasas, L. :2014

¹¹⁹ Cfr. Stachú, S.: 2014

- Elaborar una hoja de trabajo que permita la recopilación de datos. Puede ser general para que la información se acomode de diferentes maneras.
- Anotar la información de acuerdo con la frecuencia (tiempo) de aparición en forma descendente en la hoja de trabajo diseñada:
- Vaciar los datos de la hoja de trabajo en la gráfica de Pareto que se muestra en la Tabla N° 16.
- Proyectar la línea acumulativa comenzando de cero hacia el ángulo superior derecho de la primera columna. La línea acumulativa se termina cuando se llega a un nivel de 100% en la escala de porcentajes.

Tabla N° 17: Esquema de Análisis de Pareto

Actividad	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	% de Frecuencia Acumulada
Operación			
Demora			
Revisión			
Traslado			
Archivo			
TOTAL	-		100%

Elaboración: Propia; Fuente: “Administración de Operaciones” (2015).

D'Alessio, F.

- **Diagrama de Causa-Efecto (Diagrama de Ishikawa).** Este diagrama es una de las principales herramientas en la identificación de causas, su desarrollo es sencillo y de fácil comprensión¹²⁰.
 - Escribir de forma concisa el problema en la parte frontal del diagrama que se muestra en el gráfico
 - Desarrollar las posibles causas a través de una lluvia de ideas.

¹²⁰ Cfr. Stachú, S.: 2014

- Asignar cada causa a su categoría respectiva, las más comunes son:

Hombre: Cualquier persona involucrada en el proceso.

Método: Cómo se realiza el proceso y los requisitos específicos para hacerlo, tales como políticas, procedimientos, reglas, normas y leyes.

Máquina: Cualquier equipo, computadora, herramientas, etc. necesarios para realizar el trabajo.

Material: Materias primas, partes, bolígrafos, papel, entre otros., utilizados para producir el producto final.

Medida: Datos generados a partir del proceso que se usa para evaluar su calidad.

Entorno o Medio Ambiente: Las condiciones, tales como la ubicación, el tiempo, la temperatura y la cultura en la que opera el proceso¹²¹.

Finalmente se identifica la categoría o categorías con causas más recurrentes y se priorizan las causas para tratarlas de manera adecuada, como se observa en la Figura N° 18.

Figura N° 18: Diagrama de Ishikawa

Elaboración: Propia; Fuente: “Administración de Operaciones” (2015). D’Alessio, F.

¹²¹ Cfr. Stachú, S.: 2014

- **5w's + 2H.** Las 5 W's y 1 H provienen de la primera letra de las siguientes preguntas en inglés: Who (Quién), What (Qué), Where (Dónde), When (Cuándo), Why (Por qué), How Much (Cómo), How Many (Cuántos)¹²².

Casos de Éxito

Empresa Petróleos (Venezuela)

Después de varios años de intentar aplicar el RCM a lo largo de todos los sistemas y como una solución general a todos los problemas de mantenimiento, hoy se utiliza la criticidad para definir donde usar el RCM y se usa en combinación con herramientas de análisis causa raíz, inspección basada en riesgo y herramientas Asset Performance Tools (para la toma de decisiones costo riesgo) en planes integrados de mejoramiento de la confiabilidad operacional y gerencia de activos.

Esta técnica de análisis de criticidad apuntó las áreas importantes basada en el desempeño, costos, medio-ambiente y áreas de seguridad (los procesos, los sistemas, los equipos), dónde la caja de herramientas de Confiabilidad Operacional se aplica a un nivel cuantitativo de detalle total. Este juego de procedimientos técnicos se complementa por un enfoque grande en los factores humanos, la motivación, equipos de trabajo multi-destreza, la mejora continua y estrategias de comunicaciones y recompensas. Los resultados han sido espectaculares, particularmente para una compañía estatal con significantes limitaciones institucionales, políticas y comerciales.

El plan de RCM, permitió sentar las bases de una estrategia corporativa mucho más amplia de Gerencia de Activos. Millones de dólares se han ahorrado por concepto de disminución de costos y aumento de producción a lo largo de la corporación considerada entre las dos empresas más grandes de América Latina. Más de US\$230 millones por año de beneficios netos se han atribuido hasta ahora al programa y esto se reconoce como simplemente el principio.¹²³

¿Dónde empezó?

En 1995, la Refinería de Cardon estaba buscando una mejora mayor del desempeño, Confiabilidad, capacidad y problemas de eficacia estaban arrastrando la planta abajo en las referencias internacionales. Una actualización mayor estaba en marcha y en el “El

¹²² Cfr. Stachú, S.: 2014

¹²³ Cfr. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pdvsa-una-implementacion-exitosa-de-gerencia-de-activos-basada-en-riesgo>

Proyecto de la Transformación” fue concebido para levantar la Confiabilidad Operacional de la infraestructura existente. El RCM se vio como un contribuyente potencial a este proceso, pronto fue evidente que no todos los problemas eran de mantenimiento, sino que se necesitó la eliminación básica de ellos a través de un proceso de análisis causa de raíz y un plan de cambios del comportamiento. Alrededor de 300 personas fueron especializadas en estos métodos y el mensaje fue "hagan lo básico bien, y sólo apliquen los métodos sofisticados donde sean claramente necesarios." Esta aproximación tuvo un impacto rápido en las fallas de bombas para la refinería, por ejemplo, movió el tiempo promedio entre fallas de 6 meses a un promedio de 24 meses dentro del primer año. Se revisaron los requerimientos de repuestos, se evaluaron intervalos de mantenimiento e inspección y un número grande de proyectos menores se filtraron por costo/beneficio e impacto al riesgo. Las preparaciones del presupuesto anual, con alrededor de 300 componentes de proyectos y propuestas, fue filtrado, el costo/beneficio y riesgo se evaluó al igual que la jerarquía en un tiempo record, con significantes mejoras en la claridad y credibilidad. ¹²⁴

¿Los resultados?

En este sector la iniciativa de Confiabilidad Operacional ha logrado espectaculares y sostenidos éxitos. La siguiente es una muestra pequeña de los tipos de actividad que ocurrieron en 2001, y el impacto medido o potencial descubierto, como se muestra en la Tabla N° 17.

Tabla N° 18: Principales resultados Caso Petróleos

La Unidad de explotación	Los estudios del ejemplo	Impacto (beneficio potencial o logrado) *
Lagomar	Optimización de alcance para comandante reparan en estaciones de flujo (bombeo)	\$500k/año logrado
	RBI revisión de tareas de inspección de estaciones de flujo	\$200k/año logrado
	El análisis de Confiabilidad de "risers" de tebería	\$300k/año potencial \$80k/año logrado hasta ahora
Lagomedio	Optimización de mantenimiento de servicios de producción	\$220k/año logrado
	RBI revisión de tareas de inspección de estaciones de flujo	\$2 millones/año comprendido

¹²⁴ Cfr. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pdvsa-una-implementacion-exitosa-de-gerencia-de-activos-basada-en-riesgo>

	Rediseño de planes de mantenimiento para los manifolds de producción, separadores, tanques y tuberías	\$800k/año potencial \$300k/año logrado hasta ahora
	Rediseño de mantenimiento de bombas	\$300k/año potencial
	El intervalo de renovación para válvulas	\$200k/año logrado
	La Nueva estrategia de mantenimiento para válvulas de mando inteligentes	\$450k/año potencial
La Salina	Optimización de mantenimiento de estado de flujo TJ21	\$120k/año logrado
	Nueva solución de tecnología para medición de condición de motor	\$80k/año potencial
Tierra Oeste	Análisis de riesgo tubería de 24" de efluente	\$3 millones/ año potencial
Tia Juana Lago	Intervalo de mantenimiento para el tren de inyección de agua	\$60k/año logrado
	El uso de técnica de mantenimiento predictivo (Ultraprobe)	\$120k/año potencial
	Mejorar procedimiento reparaciones motor eléctricos	\$60k/año potencial
	Nueva estrategia de mantenimiento para almacenamiento y bombeo	\$90k/año potencial
	Los intervalos de mantenimiento preventivo para el equipo dinámico en la inyección de agua	\$22k/año potencial
El Tierra Pesado Este	Análisis Causa Raíz de fallas de motores eléctricos	\$210k/año potencial
	Rediseño de planes de mantenimiento planta vapor	\$620k/año potencial
	Rediseño de planes de mantenimiento para los hoists / grúas	\$2.6 millones/ año potencial
Lagocinco	Uso de venting packer en 16" riser pipelines	\$1.6 millones/ año potencial
	Rediseño la estrategia de mantenimiento de las tuberías petróleo y de gas	\$2 millones/año potencial
	Nueva estrategia mantenimiento sistema de reparación	\$150k/año potencial
	Nueva estrategia de mantenimiento para las válvulas del mando inteligentes	\$520k/año potencial

Fuente: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pdvsa-una-implementacion-exitosa-de-gerencia-de-activos-basada-en-riesgo>

Empresa Amazon (USA)

Una organización tan enorme debe establecer una serie de metas a alcanzar, y Amazon no es una excepción. En el corazón de la misión en sus instalaciones, la visión de este concepto es un objetivo “proveer los centros más confiables de distribución”. Para conseguir este objetivo, es necesario un plan de mantenimiento basado en la

confiabilidad. Pero antes de poder implementarlo, el equipo de Prather y Atchison examinó su estado actual versus su estado deseado¹²⁵.

Algunas de sus consideraciones incluían el valor de un programa de mantenimiento propio por encima de un servicio con un proveedor independiente, la necesidad de un programa de pautas internas y externas, y colaboraciones con otros centros de distribución. Finalmente, después de un profundo análisis optaron por realizar el mantenimiento de modo interno¹²⁶.

El NRT reconoció que necesitaba una transición de un programa de mantenimiento predictivo existente basado en un calendario, que requería de una parada semanal de 12 horas a un programa más flexible RCM (Reliability Centred Maintenance) que capitalizaba las oportunidades paradas diarias. Para ayudar al proceso, el equipo identificó cinco pasos¹²⁷:

1. Crear un calendario de mantenimiento
2. Entrenar a los empleados en cómo utilizar la tecnología RCM
3. Planificar la implementación de un RCM
4. Integrar software adecuado
5. Implementar RCM

Después de determinar un plan de acción paso a paso, el siguiente movimiento del NRT fue encontrar la tecnología adecuada para llevar a cabo esta tarea. Estas herramientas debían ser fáciles de usar, accesibles, flexibles y seguras. Con un espacio de almacenaje de 50 millones de pies cúbicos y alrededor de 14 millas de cintas de distribución por centro (sin mencionar todas las otras partes móviles con potencial de fallos mecánicos), tenían un amplio campo de cubrir¹²⁸.

Amazon descubrió, que los ultrasonidos deben ser el punto focal en el RCM, a pesar de que no fue la primera herramienta que el NRT implementó primero.

En su lugar los centros de distribución Amazon utilizaron la termografía como herramienta inicial RCM. A la hora de definir el tipo de cámara termográfica a utilizar valoraron tanto la calidad del equipo como las oportunidades de formación y el software

¹²⁵ Cfr. Crespo, A.: 2012

¹²⁶ Cfr. Crespo, A.: 2012

¹²⁷ Cfr. Crespo, A.: 2012

¹²⁸ Cfr. Crespo, A.: 2012

asociado. Todo el personal de mantenimiento de las instalaciones fue formado y entrenado en cómo utilizar las imágenes infrarrojas, y cómo llevar a cabo las inspecciones.

¿Los resultados?

A pesar de que Amazon sólo ha comenzado a implementar su programa RCM en los últimos dos años, ya son visibles los primeros resultados. Desde que el programa comenzó en 2013, el centro tiene el mejor rendimiento de la red, permitiendo enviar 110.000.000 unidades sin una parada mayor no programada.¹²⁹

Empresa CODELCO (Perú)

Es uno de los más grandes productores de cobre del mundo. En el 2001 se realizaron dos proyectos pilotos en RCM. Los aspectos más importantes de la División Andina y Salvador fueron¹³⁰:

División Andina

- Participación de 4 grupos de trabajo simultáneos.
- Análisis de criticidad identificó sistemas más críticos de la división incluyendo todo el proceso; desde la mina hasta la entrega del concentrado de cobre.
- Capacitación en RCM, Análisis Causa Raíz y Optimización Costo Riesgo.
- Evaluación de número óptimo de repuestos críticos (de los sistemas estudiados) con herramientas de costo-riesgo-beneficio, con una reducción del impacto total anual de más de un millón de dólares por año.
- Reducción de Costos de Mantenimiento entre 525 mil y 750 mil dólares por año.
- Posible impacto en producción entre 356 mil y 703 mil dólares por año.
- Valor presente neto (solo relacionado a costo de mantenimiento): 4.9 millones de dólares.
- Tasa interna de retorno promedio: 238%

División Salvador

¹²⁹ Cfr. Crespo, A.: 2012

¹³⁰ Cfr. Bernardo, F.: 2012

- Participación de 2 grupos de trabajo simultáneos.
- Análisis de criticidad identificó sistemas más críticos de la una planta.
- Capacitación en RCM, Análisis Causa Raíz y Optimización Costo Riesgo.
- Reducción de Costos de Mantenimiento entre 170 mil y 310 mil dólares por año.
- Posible impacto en producción 900 mil y 1.5 millones de dólares por año.
- Valor presente neto (solo relacionado a costo de mantenimiento): 1. 6 millones de dólares.
- Tasa interna de retorno promedio: 1100 %¹³¹

¹³¹ Cfr. Bernardo, F...: 2012

CAPÍTULO II – ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El presente capítulo se describirá a la empresa, el entorno, datos relevantes que permitan conocer en qué situación se desarrollan las actividades del proceso de producción y extendido de asfalto debido a su baja confiabilidad, en nuestro caso la gestión de mantenimiento de la máquina Planta de Asfalto Terex.

A partir de esta revisión, se utilizarán herramientas de Ingeniería Industrial para mostrar los procesos, actividades y los problemas que se generan en el área y determinará el impacto operativo y económico. Finalmente, se analizará de forma cualitativa y cuantitativa las causas principales y secundarias que originan la causa raíz.

Descripción de la empresa

Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (ICCGSA) es una empresa peruana del sector construcción, orientada a infraestructura, que brinda servicios de ingeniería, construcción y mantenimiento vial, así como infraestructura hospitalaria y de vivienda. ICCGSA inició actividades el 03 de mayo de 1965 y a lo largo de su trayectoria ha consolidado su desarrollo ejecutando obras en diversas especialidades de la ingeniería civil, tanto en el sector público como en el privado, en el que ha acompañado el impulso del sector minero. ICCGSA ha venido consolidándose como uno de los mayores grupos de infraestructura del Perú, ubicándose dentro de las diez empresas más grandes de construcción a nivel local. Asimismo, la Compañía cuenta con un moderno y amplio parque de maquinarias, vehículos y equipos propios que le permiten brindar diversos servicios, entre los que se encuentran:

- Carreteras y aeropuertos
- Intercambios viales y vías urbanas
- Conservación vial
- Puentes y viaductos
- Sector energía
- Obras hidráulicas

- Obras marítimas y portuarias
- Minería e industria
- Edificaciones y habilitaciones urbanas
- Hospitales
- Restauraciones y electrificaciones
- Obras de saneamiento
- Concesiones

Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (ICCGSA) inicia sus actividades en la industria de la construcción del Perú, teniendo desde entonces una actividad constante que el día de hoy permite a la empresa ubicarla entre las primeras constructoras del país con capital netamente peruano.

La empresa está dedicada a la prestación de servicios de construcción, servicios de mantenimiento vial y arrendamiento de equipos especializados a través de contratos de obras que suscribe con entidades tanto públicas como privadas, sea de manera directa o en asociación con terceros a través de la formación de consorcios.

Por otro lado, la cartera de clientes de ICCGSA está conformada principalmente por entidades del Estado, lo que es consecuencia de la importante actividad que mantiene la Compañía en los servicios de conservación vial. Fundamentalmente la Compañía mantiene una activa relación comercial con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, representado a través de Provías Nacional. Asimismo, a la fecha de análisis el resto de los clientes de la cartera del sector público lo constituyen principalmente:

- Ministerio de Salud
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
- Ministerio de Educación
- Consejo Nacional de la Magistral
- Gobierno Regional de San Martín
- Gobierno Regional de Moquegua
- Gobierno Regional de Ayacucho

- Gobierno Regional de Arequipa
- Servicios de Parques Lima - SERPAR

Tabla N° 19: Posición competitiva de la empresa 2013-2015

SUB RK 2015	SUB RK 2014	EMPRESA	VENTA 2015 US\$ millones	VENTAS 2014 US\$ millones	VENTAS 2013 US\$ millones	UTILIDAD NETA 2015 US\$ millones	UTILIDAD NETA 2014 US\$ millones	UTILIDAD NETA 2013 US\$ millones	RK 2015
1	1	GYM	1.668,0	1.631,0	1.460,2	-19,2	65,0	88,1	16
2	2	ODEBRECHT PERÚ INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ⁽¹⁾	629,4	647,9	981,7	N.D.	19,1	169,8	53
3	4	JJC CONTRATISTAS GENERALES	392,3	352,7	301,0	20,3	6,1	N.D.	91
4	3	COSAPI	345,4	422,5	488,9	17,4	17,6	28,8	100
5	6	SAN MARTÍN CONTRATISTAS GENERALES S.A.	270,0	274,8	324,1	5,7	11,3	35,9	132
6	10	ING. CIVILES & CONTRATISTAS GENERALES - ICCGSA	241,0	195,1	266,9	N.D.	N.D.	N.D.	141
7	5	MOTA-ENGIL PERÚ S.A	239,2	279,5	411,2	8,8	4,2	10,9	143
8	8	CONST.Y ADMIN.- CASA CONTRATISTAS ⁽¹⁾	235,8	230,4	184,7	N.D.	55,8	42,2	147
9	9	LOS PORTALES	225,2	195,6	185,8	18,9	13,8	15,5	156
10	7	CONSTRUCTORA OAS LTDA. SUC. DEL PERÚ ⁽¹⁾	218,0	235,0	201,9	N.D.	N.D.	N.D.	165

Fuente: América Economía Intelligence

De acuerdo figura anterior se puede ver que ICCGSA es considerada la sexta constructora más grande del país, según su volumen de ventas, de acuerdo con el ranking de las 500 mayores empresas del Perú. Cabe mencionar que dicho indicador es muy importante y que refleja la posición competitiva de la empresa ICCGSA en el sector construcción.

Durante su larga trayectoria ICCGSA ha consolidado su desarrollo ejecutando diversas obras en diversas especialidades de la ingeniería civil, tanto en el sector público como privado, en el cual ha acompañado el impulso del sector minero. De esta manera ICCGSA cuenta con un prestigio de empresa seria y responsable, cuidadosa de cumplir con plazos, costos, estándares de calidad y seguridad.

ICCGSA cuenta con las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001, lo que asegura la calidad de los servicios que brinda.

Visión

Al 2023, ser una empresa líder en el mercado nacional con proyección internacional en servicios de ingeniería, construcción, mantenimiento y concesiones; sustentada en el trabajo responsable, dedicado e innovador de sus directivos y colaboradores.

Misión

Brindar servicios de ingeniería, construcción, mantenimiento y concesiones; contribuyendo así al desarrollo del país.

Su accionar privilegia la calidad, la seguridad y la preservación del medio ambiente, en armonía con las comunidades donde se realizan sus actividades, desarrollando con sus colaboradores las mejores prácticas de trabajo y ampliando sus conocimientos en un grato ambiente laboral y logrando una rentabilidad adecuada para sus accionistas

Análisis FODA

Esta matriz es una de las más importantes desde el punto de vista situacional, debido a que le permite a la empresa generar estrategias en los cuatro cuadrantes de la matriz: Fortalezas y Oportunidades (FO), Fortalezas y Amenazas (FA), Debilidades y Oportunidades (DO), y Debilidades y Amenazas (DA).

Identificar el análisis del entorno, de la competencia, y del entorno ayudará en gran medida a la empresa a tomar decisiones sobre sus acciones operativas internas.

En nuestro caso, en la Tabla N° 19, se muestra en FODA de la empresa en estudio, sin emparejamiento, por no ser el objetivo de nuestro estudio.

Tabla N° 20: Matriz FODA

Matriz FODA	OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS	AMENAZAS ESTRATÉGICAS
	1. Crecimiento del sector de construcción y nuevos proyectos a ejecutarse.	1. Paralización de proyectos de inversión sectorial por coyuntura política actual.
	2. Oportunidad de integración con empresas del sector construcción.	2. Nuevos competidores en el rubro de construcción.
	3. Solvencia de holding a nivel internacional.	3. Nuevas exigencias y requisitos de permisos para servicios de ingeniería, construcción, mantenimiento y concesiones.
	4. Experiencia en la participación en proyectos de inversión.	4. Competidores con tecnología avanzada para sus operaciones.
	FORTALEZAS ESTRATÉGICAS	DEBILIDADES CRÍTICAS
	1. Solvencia financiera por crecimiento en ventas en sus últimos dos años.	1. Falta de estandarización en procesos claves.
	2. Alianzas con proveedores clave del sector construcción.	2. Falta de ejecución de plan integral de mantenimiento de máquinas aplicando metodología RCM o TPM.
	3. Disponibilidad de infraestructura para ejecutar operaciones de proyectos a nivel nacional.	3. Falta de capacitación a personal en prácticas de mantenimiento de maquinarias.

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Estructura Organizacional

En la Figura N° 19, muestra la estructura organizativa de la empresa.

Figura N°19: Organigrama ICCGSA 2016

Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 20: Organigrama Gerencia de Equipos ICCGSA 2016

Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Cadena de Valor

Previo a la revisión del flujo del proceso de gestión de mantenimiento, es importante revisar la cadena de valor de la empresa que incluye las actividades de soporte a la producción y las actividades primarias, como se muestra en la Figura N° 21.

Figura N° 21: Cadena de Valor de la Empresa -2016

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Mapa de Procesos

En la Figura N° 22, se observa el Mapa de Procesos donde los procesos de “Ingeniería”, “Construcción” y “Mantenimiento de Obra” forma parte de procesos de soporte de las actividades core del negocio.

Figura N° 22: Mapa de procesos-2016

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

SIPOC

El Diagrama de SIPOC, por sus siglas en inglés es “Supplier - Input – Process – Output - Customer” es la representación gráfica de un proceso de gestión, permite visualizar el proceso de una manera sencilla identificando los componentes como proveedor, recursos, proceso, salida y cliente.¹³² El SIPOC, nos diseña de una vista general el flujo del proceso y sus relaciones dentro de la organización, además muestra características como límites, punto de inicio y final del proceso y las propuestas mejoras. En la Tabla N° 20, se muestra las entradas, actividades y salidas involucradas en el proceso de gestión de mantenimiento de la empresa en estudio.

¹³² Cfr. Ahoy, Ch. 2013:215-245

Tabla N° 21: SIPOC de mantenimiento

PROVEEDORES	ENTRADAS AL PROCESO	ACTIVIDADES	PROCEDIMIENTOS RELACIONADO	SALIDA DEL PROCESO	CLIENTES
<p>Cliente Planear la Estrategia Comercializar Administrar Sistemas de Gestión (C-SSMA) Gestionar el Talento Humano Gestionar Recursos Administrativos, Gestionar Compras, Administrar TI Administrar Inventarios Ejecutar el Proyecto</p>	PLANEAR				<p>Cliente Planear la Estrategia Comercializar Administrar Sistemas de Gestión (C-SSMA) Gestionar el Talento Humano Gestionar Recursos Administrativos, Gestionar Compras, Administrar TI Administrar Inventarios Ejecutar el Proyecto</p>
	Necesidades de equipos Requerimientos de equipos	Analizar la solicitud de la utilización de equipos en obra. Participar en la negociación para la compra de equipos cuando el mercado interno no garantice el cumplimiento de los requisitos contractuales.	PMT-03-01 PMT -06-01	Relación de equipos considerados en la oferta. Especificaciones del equipo a adquirir.	
	Listado de las necesidades de equipos para el Proyecto Manual de cada maquinaria	Revisar el listado y evaluar la disponibilidad de equipos propio y/o alquilado. Elaborar para el equipo propio un Programa de Mantenimiento	PMT -06-04 PMT -09-07	Plan de disponibilidad de equipos Programación de Mantenimientos	
	Peligros y aspectos ambientales	Participar de manera activa y coordinada con el proceso Administrar Sistemas de Gestión (SSMA) para la identificación de los peligros y aspectos ambientales y evaluación de los riesgos e impactos ambientales.	PMT -24-05	Matriz de Identificación de Peligros/ Aspectos Ambientales y Evaluación de Riesgos/Impactos Ambientales	

	Peligros de actividades diarias.	Al inicio de labores se debe realizar o participar en el análisis seguro de trabajo y la generación de permisos, en caso aplique.	PMT -22-0 PMT -22-12 PMT -22-16	Análisis Seguro de Trabajo Permiso para Trabajos en Caliente Permiso de Trabajo de Izaje	
--	----------------------------------	---	---------------------------------------	--	--

HACER			
Plan de Reparación	Solicitar al proceso de realizar compras los repuestos e insumos necesarios para la ejecución de las actividades.	PMT -06-01	Solicitud de materiales o insumos, Especificaciones técnicas
Solicitud de Equipos	Recibir las solicitudes de Equipos con las especificaciones requeridas y evaluar si se puede o no suplir las necesidades del proyecto con equipo propio, de no ser así realizan los trámites para la contratación del mismo, revisando la base de datos.	PMT -06-04	Contrato de Alquiler Contrato de Locación de transporte de Personal
Solicitud de documentación de los equipos y/o del Operador	Realiza evaluaciones visuales y de operación al equipo ofrecido para comprobar su normal funcionamiento, verificando que el operador del equipo (si aplica), cumpla con todos los requerimientos de documentación además de cumplir con los requisitos del sistema de gestión de Calidad, Seguridad, salud ocupacional y Medio Ambiente	PMT -06-04	Contrato de Alquiler Documentos para dar cumplimiento a las Cláusulas de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.
Contrato de Alquiler	Enviar mensualmente dentro de los cinco (5) primeros días del mes un correo informando a la SAF, el número de contrato con el que comienza el mes,	PMT -06-04	Control de la oportuna suscripción de los contratos

Mantenimientos Preventivos y Correctivos	Solicitar al proveedor la programación de mantenimientos preventivos y correctivos siempre y cuando afecten el transcurso normal del proyecto.	PMT -06-04	Mantenimientos realizados Gestionar la reposición de otros equipos Programa de mantenimiento preventivo y correctivo del proveedor
Informe de repuestos Pendientes por Entregar por parte de los proveedores	Revisar el informe enviado por inventarios sobre repuestos pendientes por llegar, para hacer seguimiento y evitar retrasos en la programación o ejecución de mantenimientos.	PMT -09-07	Ejecución del programa de mantenimientos
Equipos Livianos y Pesados	Verificar el correcto estado de equipos livianos y pesados.	PMT -22-15	Check List de Pre uso de Equipo Móvil
Informe de Equipo Menor Propio y alquilado	Revisar los informes enviados por el proceso de Administrar inventarios en relación a los equipos menores propios y alquilados utilizados o asignados a un proyecto	PMT -09-07	Facturación Interna de Equipo Menor
Programa de Mantenimiento	Ejecutar las actividades programadas para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.	PMT -09-07	Hoja de vida de Equipos Actualizada
Informes contables	Elaborar mensualmente el informe de costos de mantenimiento de equipos y plantas	PER-09-07	Presupuestos, P&G, informes del sistema
Orden de Reparación	Planear y ejecutar los mantenimientos correctivos que presenten los equipos teniendo en cuenta la información técnica del fabricante.	PMT -09-07	Ejecución del programa de mantenimientos por personal externo y/o especializado.
Mantenimientos Preventivos y Correctivos	Aplicar el bloqueo y rotulado antes de empezar los trabajos de mantenimiento, instalaciones, ensamblaje, inspecciones que se realicen en máquinas, ductos y equipos.	PMT -22-11	Autorización Para retiro de Bloqueo

Solicitud de Verificación y/o Calibración de Equipos de Medición Inspección y Ensayo	Realizar la gestión para enviar a verificación y/o calibración con proveedor de trazabilidad conocida los equipos de inspección, medición y ensayo utilizados en los proyectos.	PMT -11-01	Certificados de Calibración y/o Verificaciones
Residuos	Realizar la segregación de los residuos.	PMT -23-03	Residuos segregados.
Derrame	Atender los derrames con el Kit de Respuesta a Derrames	PMT -23-04 PER-23-15	Reporte de Incidentes Ambientales
VERIFICAR			
Datos para realizar indicadores	Recopilar, analizar y presentar los resultados de la gestión del proceso a través de la medición y evaluación periódica de los indicadores a la alta dirección.	PMT -01-01	Resultados de Indicadores de gestión
Herramientas manuales y eléctricas.	Realizar la inspección de herramientas y evitar el uso no intencionado de herramientas hechas.	PMT -22-10	Registros de inspección de herramientas manuales y Eléctricas
Talleres y Equipos Motorizados (Liviano y Pesado), implementos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.	Realizar el tratamiento de los hallazgos identificados en las inspecciones de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.	PMT -22-10 PMT -23-14	Hallazgos de inspecciones corregidos.
Actos y Condiciones Subestándares Accidentes	Participar en la prevención de accidentes mediante la identificación y reporte de actos y condiciones Subestándares.	PMT -22-04 PMT -23-15	Reporte de Actos, Condiciones Subestándares y Cuasi accidentes
Incidentes Ambientales	Comunicar los accidentes e incidentes ambientales que identifique y/o participar en la investigación.	PMT -23-15	Reporte de incidentes ambientales.
Programación de Auditorías	Demostrar a intervalos planificados el mantenimiento de la eficacia del sistema de gestión de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente con los requisitos internos y externos de la organización.	PMT -17-01	Resultados de auditorías.

ACTUAR			
Acciones de Mejoramiento	Identificar, analizar e implementar acciones de mejora, correctivas y/o preventivas para la solución de problemas reales y/o potenciales detectadas; para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua del proceso.	PMT -14-01	Acciones de mejora

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Flujograma

En la Figura N° 23, se muestra las entradas, actividades y salidas involucradas en el proceso de gestión de mantenimiento de la empresa en estudio.

Figura N° 23: Flujograma del proceso de mantenimiento general de equipos

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Figura N° 24: Flujograma del proceso de mantenimiento correctivo

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Problemática de la empresa

La empresa ICCGSA S.A. una empresa de ingeniería y construcción cuenta con un prestigio de empresa seria y responsable, cuidadosa de cumplir con plazos, costos, estándares de calidad y seguridad. Sin embargo, existen registros históricos que evidencian una baja eficiencia en la producción y extendido del asfalto, generando consecuencias negativas para la empresa.

Esta deficiencia en la producción es medida a través del indicador de OEE, como parte de la política de mejora continua de la empresa. La meta trazada para el 2017 fue de 85%¹³³.

Figura N° 25: Eficiencia General de los Equipos -2017

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

La figura N°25 muestra el resultado general OEE del año 2017, donde se aprecia que el acumulado del año es de 83.02%, siendo esta, por debajo del 85% planteado por la gerencia del SIG (Sistema Integrado de Gestión).

Esto nos indica que existen problemas en la efectividad global de los equipos por lo cual analizaremos los factores que intervienen en el OEE.

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

A continuación, se presenta el análisis de cada uno de los factores que intervienen en el cálculo del OEE

¹³³ Cfr: SIG ICCGSA

OEE

Disponibilidad:

Se refiere a la disponibilidad operacional total, que el área de mantenimiento entrega al área de operaciones.

Figura N°26: Disponibilidad de Equipos 2017

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

De la figura N°26, se observa que la disponibilidad en el 2017 es de un 88,76%, siendo la meta del 90%.

La disponibilidad se ve afectado por las paradas programadas, por falla en la parte operacional (falla en los procesos), ajustes y puesta a punto de los equipos entre otros. Los cuales han sido tipificados en la tabla N°22.

Tabla N° 22: Disponibilidad de Equipos 2017

TIPO DE PARADA
Sin operador
Falta de frente
Espera por efectos del clima
Mantenimiento programado
Mantenimiento correctivo no programado

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

A continuación, se muestra el análisis que se realizó a los registros de las horas de parada de producción y extendido de asfalto en el año 2017.

Tabla N° 23: Horas de Paradas por tipo

Tipo de Parada	Horas de Paradas por tipo											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mantenimiento NP	26.17	21.84	26.02	29.79	26.89	29.74	27.59	29.53	29.84	26.74	30.05	25.60
Operacional	1.95	1.63	1.94	2.22	2.01	2.22	2.06	2.20	2.23	2.00	2.24	1.91
Programado	7.81	6.52	7.77	8.89	8.03	8.88	8.24	8.82	8.91	7.98	8.97	7.64
Otros	3.12	2.61	3.11	3.56	3.21	3.55	3.29	3.53	3.56	3.19	3.59	3.06
Total horas de paradas de equipo	39.1	32.6	38.84	44.46	40.14	44.388	41.18	44.08	44.53	39.92	44.86	38.20
Total días para la producción	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total Horas para la producción	372	336	372	360	372	360	372	372	360	372	360	372
Disponibilidad	89.50%	90.30%	89.56%	87.65%	89.21%	87.67%	88.93%	88.15%	87.63%	89.27%	87.54%	89.73%

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De la tabla N°23 tenemos que el año 2017 se tuvieron 4380 horas para producir de las cuales 492 horas fueron por paradas de los equipos en la línea de producción y extendido de asfalto. Para tener una mejor visualización plasmaremos el % de incidencia del tipo de parada en la Figura N°26.

Figura N° 26: Incidencia por tipo de parada

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

De la figura N°26 se observa, que el mantenimiento no programado tiene una incidencia del 67% del total de las horas que se registran como parada de producción. Con un 20% se tiene la parte operacional, 8% las paradas programadas y otros tipos de paradas cuentan con solo el 5% del total de paradas.

Del análisis, se concluye que el factor predominante en las paradas que afectan la disponibilidad, están ligados altamente a problemas con el mantenimiento de los equipos.

Rendimiento

Se considera el volumen de material trabajado por día, medido según la especificación.

Figura N° 27: Rendimiento de equipos 2017

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

De la figura N°27 se observa, que el rendimiento promedio del año 2017 fue del 94.63% el cual está ligeramente por debajo de la meta del 95% lo cual origina una menor productividad que se ve reflejado en los avances de producción como se muestra en la figura N°28.

Figura N° 28: Avance de producción del año 2017

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

De la Tabla N°24 se observa que en el año 2017 se debió producir 130305 m³, pero solo se llegó a producir 123300 m³ esto debido a que el avance de la producción se ve afectado, por paradas muy pequeñas (micro paradas), las cuales si se acumulan pueden generar una

parada más significativa por turno de producción, la cual genera que el avance programado se vea disminuido. Además, el rendimiento se ve afectado por una velocidad reducida de producción, esto generalmente por problemas mecánicos o BACKLOGS¹³⁴ que hacen que el equipo se vea afectado en su eficiencia.

A continuación, en la tabla N°24 se muestra el análisis del avance mensual de producción de asfalto versus las incidencias que afectan el rendimiento del equipo.

¹³⁴ BACKLOGS: Fallas que están en una etapa de formación y que no son tan críticas para parar el equipo.

Tabla N° 24: Avance mensual de producción en m3 de asfalto

	Avance mensual de producción en m3 de asfalto											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mantenimiento NP (horas)	12.36	11.38	12.99	12.47	13.98	12.73	12.59	13.87	11.75	13.15	13.22	12.57
Operacional (horas)	3.80	3.50	4.00	3.84	4.30	3.92	3.87	4.27	3.61	4.05	4.07	3.87
Otros (horas)	2.85	2.63	3.00	2.88	3.23	2.94	2.91	3.20	2.71	3.04	3.05	2.90
Acumulado de Hrs de parada	19.01	17.51	19.99	19.19	21.51	19.58	19.37	21.33	18.07	20.24	20.34	19.34
Rendimiento al 95%	11067	9996	11067	10710	11067	10710	11067	11067	10710	11067	10710	11067
Rendimiento actual	10501.48	9475.21	10472.31	10139.16	10427.11	10127.38	10490.66	10432.35	10172.36	10464.96	10104.89	10491.76

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 29: Rendimiento actual por tipo de parada

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De la figura N°29 se observa, que el 65% del total de horas en las que el rendimiento disminuyo, son originadas por problemas en el mantenimiento, un 20% por problemas operacionales y un 15 % por otros factores.

Del análisis, se concluye que el factor predominante que afecta el rendimiento, están ligadas a problemas por parte del mantenimiento de los equipos.

Calidad

Se mide la calidad de mezcla asfáltica como el conjunto de características de los componentes del producto, que la hacen apta para la satisfacción del proyecto.

Figura N° 30: Calidad de mezcla de asfalto 2017

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De la figura N°30, se observa que la calidad en las líneas de producción de asfalto es de 98.85%, ligeramente inferior a la meta del 99% en el periodo del 2017.

La calidad se ve mermada, entre otras, por problemas de mantenimiento, mala calibración, mala operación del equipo, insumos que no son los adecuados o de mala calidad.

A continuación, se presentan los m3 de asfalto que no pasaron el control de calidad en el 2017

Figura N° 31: m3 de asfalto defectuoso

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De la figura N°31 interpretamos lo siguiente:

De los 107.12 m³ de asfalto defectuoso en el mes de enero, 91.05 m³ fueron por problemas de mantenimiento, 10.71 m³ por problema en la operación y solo 5.36 m³ fueron causados por otros factores. Para una mejor visualización se plasmará en la figura N°32.

Figura N° 32: % de tipo de fallo por m3 de asfalto defectuoso

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Entonces tenemos que el mantenimiento es el causante del 85% del asfalto defectuoso, un 10% por parte de la operación de los equipos y un 5% por parte de otros factores.

En conclusión, tenemos que de los tres factores que intervienen en el OEE, la baja eficiencia se ve influenciado por temas de mantenimiento y esto lleva a una serie de consecuencias como:

- Baja disponibilidad de los equipos
- Bajo Rendimiento del Equipo.
- El Proyecto queda paralizado por ser parte del cuello de botella.
- Retrasos en el avance de la obra.
- Aumento de Horas Extras
- Aumento del costo de mantenimiento

Es por ello, que se procede al análisis del área de mantenimiento para llegar a la causa raíz de la baja eficiencia operacional de los equipos OEE.

Mantenimiento

Al detectar problemas en el área de mantenimiento es necesario analizar los indicadores de gestión o Benchmarks¹³⁵, para ver la evolución hacia la meta. Además, se podrá identificar los principales problemas por impacto en costo, disponibilidad y confiabilidad, permitiendo priorizar el análisis

MTBF (Tiempo promedio entre las fallas)

A continuación, presentamos el MTBF, lo cual representa el tiempo promedio que transcurrió entre falla y falla de los equipos de producción que están operando en la producción y extendido de asfaltado.

¹³⁵ Benchmarks: Referencia genérica que es usada para monitorear el progreso.

Figura N° 33: MTBF de Línea de Producción y Extendido de Asfalto

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Los resultados del MTBF como se observa en la figura N° 33, en algunos meses no se alcanzan la meta; ya que este indicador, tiene una meta de 108 horas o 9 días, siendo el día de trabajo de 12hrs. Como se puede apreciar en la figura, el promedio del MTBF en el 2017 fue de 87.86 horas o 7.3 días, esto quiere decir que en promedio cada 7 días se presenta una falla en los equipos, lo cual está por debajo del objetivo planteado por gerencia que es de por lo menos 9 días.

MTTR (Tiempo Medio de reparación).

Este indicador, permite evaluar la situación de las máquinas que conforman la línea de producción y extendido de asfalto en cuestión de las horas necesarias que se requiere para poder reparar una falla o avería que se presenta en la maquinaria en promedio.

Figura N° 34: MTTR de Línea de Producción y Extendido de Asfalto

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Como se puede apreciar en la figura N°34 el indicador de MTTR su meta es de 4 horas, sin embargo, en el 2017, en los meses de abril, junio y setiembre se obtuvo un MTTR de 10 horas y en el mes de noviembre un MTTR de 14,5 horas, siendo su tiempo promedio por reparación cuando ocurre una falla de 4 horas. En conclusión, no se está cumpliendo la meta trazada.

Los resultados del MTBF y MTTR comparados con la meta concluimos que la gestión de mantenimiento está por debajo de las exigencias mínimas de los estándares de mantenimiento. Es por ello, que es necesario analizar los equipos que conforman la línea de producción y extendido de asfalto para saber cuál de ellas, son las que originan los problemas de paradas de producción y las de mermas en m³ de asfalto defectuoso.

La producción y extendido de asfalto lo conforman un conjunto de equipos que se detallan en la tabla N°25.

Tabla N° 25: Lista de equipos del proceso de producción y extendido de asfalto

CENTRO DE COSTO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
EPE25336DL1	PLANTA DE ASFALTO TEREX
EPE25336DL2	RODILLO TANDEM CAT CB534D
EPE25336DL3	RODILLO NEUMÁTICO PS360C

EPE25336DL4	CARGADOR FRONTAL CAT 962H
EPE25336DL5	RODILLO COMPACTADOR CS533E
EPE25336DL7	ESPARCIDORA DE ASFALTO AP1055B 8BM

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA
A continuación, en la figura N°35 se mostrará la cantidad de paradas por equipo.

Figura N° 35: Cantidad de paradas por equipo de la línea de producción y extendido de
Asfalto

*Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -
ICCGSA*

Figura N° 36: Pareto de la cantidad de paradas de la línea de producción y extendido de Asfalto

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De las figuras N°35 y N°36, se evidencia que el equipo EPE25336DL3 (RODILLO NEUMÁTICO PS360C), es el que contiene mayores incidencias en paradas de producción por problemas de mantenimiento correctivo no programado.

A continuación, se presentan las incidencias de paradas en horas, con la finalidad de conocer los equipos que generan mayor tiempo de parada de producción.

Figura N° 37: Total de horas de paradas por equipo

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 38: Pareto - Total de horas de paradas por equipo

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De las figuras N°37 y N°38, se muestra que el equipo EPE25336DL1 (PLANTA DE ASFALTO TEREX), es el que contiene mayores incidencias de paradas en horas de producción por problemas de mantenimiento.

Este equipo se le considera crítico, ya que, como se puede observar en la Figura N°36, es el segundo equipo que tiene más cantidad de paradas, pero la mayor relevancia es el hecho de que este equipo tiene la mayor cantidad de horas de parada, esto quiere decir que, si este equipo deja de funcionar, la línea de producción para en su totalidad.

Esta problemática ha ocasionado un total de 67.72 horas no disponible no planificadas por el área de mantenimiento, las cuales pueden ser relacionadas a diferentes causas directas.

Análisis de las causas:

Para identificar las causas del problema, se aplicó la técnica juicio de expertos, quienes en una reunión in-situ, se conversó acerca del problema con los involucrados en el proceso y a través de una clasificación de las fallas por mantenimiento se identificó las causas principales que ocasionan “Deficiente gestión de mantenimiento de los equipos de producción que interrumpe el proceso de proceso de producción y extendido de asfalto”.

En la Tabla N°26, se muestra el análisis cuantitativo para determinar las causas que tienen un mayor impacto en el problema, se realiza una tabla de jerarquización, en la cual se valorizan las causas de acuerdo con su importancia dentro de los factores que impactan en el costo, el cliente y el proceso interno.

Tabla N° 26: Tabla de jerarquización según importancia

ESCALA PTOS.	GRADO DE IMPORTANCIA
1-20	Sin importancia
20-40	Poca importancia
40-60	Medianamente importante
60-80	Importante
80-100	Muy importante

Fuente: LÓPEZ, M. (2014). “Uso secuencial de herramientas de calidad en los procesos productivos”.

Tabla N° 27: Resultados de evaluación de causas según tabla jerarquización y nivel de impacto

N°	Clasificación "M"	Causa Principal	Impacto en el proceso interno 1-33 pts.	Impacto en el costo 1-33 pts.	Impacto en el cliente 1-33 pts.	Puntaje Total	Grado de importancia
6.1	Máquinas y equipos	Falta de equipos disponibles por reparaciones.	33	33	33	99	Muy importante
1.1	Métodos	Métodos correctivos y preventivos inapropiados	30	30	33	93	Muy importante
4.2	Control	Falta de formatos de inspección y control de mantenimiento	29	32	28	89	Muy importante
4.1	Control	Indicadores de gestión deficientes	30	26	25	81	Muy importante
2.2	Materiales	Mala conservación de los bienes adquiridos	19	28	20	67	Importante
3.2	Medio Ambiente	Condiciones ambientales inadecuadas en el taller	11	16	33	60	Importante
5.1	Mano de obra	Personal inadecuado y falta de personal	20	10	28	58	Medianamente importante
5.3	Mano de obra	Desmotivación del personal	22	16	20	58	Medianamente importante
2.1	Materiales	Error en la solicitud de pedido de repuestos	5	18	33	56	Medianamente importante
5.2	Mano de obra	Asignación de responsabilidades y actividades mal definidas	21	10	24	55	Medianamente importante
6.3	Máquinas y equipos	Exigencia en el uso continuo del equipo	16	24	10	50	Medianamente importante
6.2	Máquinas y equipos	Herramientas de trabajo obsoletas	10	14	20	44	Medianamente importante
2.3	Materiales	Falta de stock de repuestos críticos y no críticos	22	30	10	42	Medianamente importante
1.3	Métodos	Carencia de documentación del área	4	3	30	37	Poca importancia
3.1	Medio Ambiente	Falta de señalización en la zona de trabajo	5	10	20	35	Poca importancia
1.2	Métodos	Falta de historial de vida útil de los activos	20	8	3	31	Poca importancia

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Con este cuadro podremos dar a través de puntajes cuales son las causas que tiene mayor impacto en nuestro proyecto el cual es de importancia para la gerencia de equipos.

A continuación, graficaremos el Diagrama de Ishikawa para poder tener mejor visualización de las causas que generan el problema

Figura N° 39: Diagrama de Ishikawa

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Luego de haber realizado la jerarquización de las causas principales por su nivel de impacto se procede el análisis de Pareto, tomando en consideración la tabla de criterios de evaluación y puntuación, el cual se obtiene de cruzar el nivel la frecuencia con el nivel de impacto de las causas que originan el problema, como se muestra en la Tabla N°28.

Tabla N° 28: Criterios de evaluación y puntuación

Criterios de evaluación y puntuación		
Frecuencia	Ocasional	1
	Regular	5
	Siempre	10
Impacto	Bajo	1
	Medio	5
	Alto	10

Fuente: LÓPEZ, M. (2014). “Uso secuencial de herramientas de calidad en los procesos productivos”.

Con los datos presentados en la Tabla N°29 realizaremos la siguiente tabla de frecuencia y el impacto que tiene cada causa.

Tabla N° 29: Evaluación y puntuación de causas principales

CAUSA PRINCIPAL	FRECUENCIA	IMPACTO	PUN. FRECUENCIA	PUN. IMPACTO	PUNTAJE FXI	TOTAL FRECUENCIA	%ACUMULADO
Métodos correctivos y preventivos inapropiados	Siempre	Alto	10	10	100	100	20%
Indicadores de gestión deficientes	Siempre	Alto	10	10	100	200	39%
Falta de formatos de inspección y control de mantenimiento	Siempre	Alto	10	10	100	300	59%
Falta de equipos disponibles por reparaciones.	Siempre	Alto	10	10	100	400	79%
Personal inadecuado y falta de personal	Regular	Medio	5	5	25	425	84%
Asignación de responsabilidades y actividades mal definidas	Regular	Medio	5	5	25	450	89%
Herramientas de trabajo obsoletas	Regular	Medio	5	5	25	475	94%
Error en la solicitud de pedido de repuestos	Ocasional	Medio	1	5	5	480	94%
Falta de señalización en la zona de trabajo	Ocasional	Medio	1	5	5	485	95%
Mala conservación de los bienes adquiridos	Ocasional	Medio	1	5	5	490	96%
Falta de historial de vida útil de los activos	Regular	Bajo	5	1	5	495	97%
Falta de stock de repuestos críticos y no críticos	Ocasional	Medio	1	5	5	500	98%
Desmotivación del personal	Ocasional	Medio	1	5	5	505	99%
Exigencia en el uso continuo del equipo	Ocasional	Bajo	1	1	1	506	100%
Carencia de documentación del área	Ocasional	Bajo	1	1	1	507	100%
Condiciones ambientales inadecuadas en el taller	Ocasional	Bajo	1	1	1	508	100%

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Con la Tabla N°29 realizada ya tenemos todas las frecuencias ordenadas de mayor frecuencia hasta la menor, con esta información podremos realizar el diagrama de Pareto como se muestra en la Figura N° 40, lo cual nos ayudará a encontrar las causas principales.

Figura N° 40: Diagrama de Pareto

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

En la gráfica de Pareto de la figura N°40, se observa que las causas que está por debajo del 80% es:

- Métodos correctivos y preventivos inapropiados.
- Indicadores de gestión deficientes.
- Falta de formatos de inspección y control del mantenimiento.
- Falta de equipos disponibles por reparaciones.

Sin embargo, se puede observar que es también importante revisar las siguientes causas que guardan relación a la anterior hasta la intersección de la línea como se muestra en el gráfico anterior.

Descripción de las principales causas

1. **Falta de equipos disponibles por reparaciones.** Los equipos llegan a proyecto con reparaciones y mantenimientos pendientes, por ello, es necesario se presentan fallas durante la operación, en consecuencia, los equipos presentan baja disponibilidad y confiabilidad.
2. **Métodos correctivos y preventivos inapropiados.** Los procedimientos de mantenimiento no están establecidos en el área y en otros casos falta la actualización de estos.
3. **Falta de formatos de inspección y control de mantenimiento.** Existe una mala administración de los formatos de inspección y control de mantenimiento, ya que no hay un registro de ordenes de trabajo.
4. **Indicadores de gestión deficientes.** Los supervisores de mantenimiento no le dan un seguimiento a la recopilación de la data en campo, en consecuencia, la data de mantenimiento no es una fuente confiable para realizar indicadores que reflejen la realidad del área de mantenimiento.

Para profundizar mayor el análisis de estas 4 causas, vamos a realizar un cuadro, realizando la técnica de los 5 ¿Por qué?

Tabla N° 30: Técnica de los 5 Por qué?

Técnica de Los 5 ¿Por qué?					
Causas Principales	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Falta de equipos disponibles por reparaciones.	Porque se presentaron fallas inesperadas.	Porque existen reparaciones pendientes.	Porque no fueron programadas a tiempo.	Porque no existe un plan de mantenimiento consolidado.	Porque la jefatura de equipos no está comprometida con las nuevas tácticas de mantenimiento
Métodos correctivos y preventivos inapropiados	Porque las reparaciones no son confiables.	Porque los técnicos tienen diferentes criterios para reparar.	Porque no tienen un procedimiento de mantenimiento que están establecidos.	Porque no tienen las capacitaciones necesarias	Porque no tienen los recursos necesarios para la mejora continua del área
Falta de formatos de inspección y control de mantenimiento	Porque no existe un registro de información de fallas.	Porque no se pueden predecir nuevas fallas.	Porque no se tiene información o registro de tareas que sirvan de soporte.	Porque no tienen evidencia de las tareas de mantenimiento realizadas.	Porque no se tiene una administración adecuada de BACKLOG o Tareas de reparaciones
Indicadores de gestión deficientes	Porque no reflejan la realidad del área.	Porque los indicadores no son precisos.	Porque los datos no han sido reportados en su totalidad.	Porque los supervisores no están realizando sus actividades de gestión de mantenimiento.	Porque no tienen metas ni objetivos claros.

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Impacto Económico:

El problema de deficiente Gestión de Mantenimiento en los equipos de la línea de producción de asfalto tiene un bajo OEE, ya que se obtuvo 83% en lugar de un 85%, esto trae dos consecuencias económicas.

1. Impacto económico 1: Pérdidas por retraso en la entrega de proyectos. Las paradas de la línea de producción y extendido de asfalto ocasionadas por la inoperatividad de los equipos de producción de asfalto, ocasionan retrasos en la entrega de los proyectos, los cuales traen consigo el pago de una penalidad por día retrasado a los clientes.

Tabla N° 31: Impacto económico por pago de penalidad por retraso en la entrega.

2017	Días de retraso	Pago por penalidad	Pérdida Total
Enero	2	8,154	S/ 16,308
Febrero	3		S/ 24,462
Marzo	7		S/ 57,078
Abril	0		S/ -
Mayo	5		S/ 40,770
Junio	0		S/ -
Julio	1		S/ 8,154
Agosto	1		S/ 8,154
Septiembre	1		S/ 8,154
Octubre	0		S/ -
Noviembre	0		S/ -
Diciembre	0		S/ -
Total (S/)			S/ 163,080

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Para realizar el cálculo de las pérdidas económicas de producción en el año 2017 se consideró lo siguiente:

- Reportes de días de retraso por el área de operaciones, la cantidad de días retrasados en la entrega de obra.
- El costo por día de retraso es de 8, 154¹³⁶ nuevos soles.

2. Impacto económico 2: Costo por hora de mantenimiento no programado. Como consecuencias directas de las paradas de planta ocasionadas por la inoperatividad de los equipos de producción y extendido de Asfalto, se tiene un efecto por concepto de costo

¹³⁶ Cfr. ICCGSA SIG

por mantenimiento no programado. Ya que la disponibilidad considerada por la empresa es de 90 % y la real ha sido de 88 %, ocasionando una falta de disponibilidad de la planta para producir. Para realizar el cálculo de las pérdidas económicas de producción en el año 2017 se consideró lo siguiente:

- Horas no disponibles planificadas, las cuales son las que se planifican con un 90 % de disponibilidad de la planta.
- El impacto se calcula por la diferencia entre las horas de no disponibilidad planeada en comparación con las reales.
- La diferencia de horas no disponibles no planificadas ocasiona pérdidas por concepto de venta perdida, ya que al no realizarse producción se pierde el ingreso no producido
- El costo por hora disponible es de 3000¹³⁷ nuevos soles.

¹³⁷ Cfr. ICCGSA SIG

Tabla N° 32: Pérdida por no disponibilidad de los equipos de producción 2017

2017	% Disponibilidad Real	% Disponibilidad Meta	Horas no disponibles Real	Horas no disponibles Planificado	Horas disponibles no planificadas	Costo por hora mantenimiento no programado (S/)	Pérdida Total
Enero	89.5	90	34	8	26	3,000	S/ 78,511
Febrero	90.3	90	28	7	22		S/ 65,510
Marzo	89.56	90	34	8	26		S/ 78,062
Abril	87.65	90	39	9	30		S/ 89,365
Mayo	89.21	90	35	8	27		S/ 80,679
Junio	87.67	90	39	9	30		S/ 89,220
Julio	88.93	90	36	8	28		S/ 82,773
Agosto	88.15	90	38	9	30		S/ 88,605
Septiembre	87.63	90	39	9	30		S/ 89,509
Octubre	89.27	90	35	8	27		S/ 80,230
Noviembre	87.54	90	39	9	30		S/ 90,161
Diciembre	89.73	90	33	8	26		S/ 76,791
Total	88.76	90.0	428	98	330		S/ 989,414

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Tabla N° 33: Pérdidas Totales

2017	Total
Pérdidas por pago de penalidad	S/ 163,080
Perdidas por no disponibilidad (venta pérdida)	S/ 989,414
Total (S/)	S/ 1,152,494

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Como se observa en la Tabla N°33, la empresa ICCGSA, ha perdido en total S/ 1,152,494 por la baja disponibilidad de sus equipos en el año 2017.

Diagnóstico de la situación problemática.

“La empresa ICCGSA, viene perdiendo por paradas de producción debido al mantenimiento correctivo no programado S/ 1,152,494 en el último año, debido a la baja disponibilidad de los equipos que conforman la producción y extendido de asfalto. Esta baja disponibilidad se debe a la existencia de averías por mantenimiento correctivo no programado que son causadas principalmente por una deficiente Gestión de mantenimiento”

Objetivos de la investigación:

Después de definir el problema central se expondrán las causas que lo generan. Para establecer los objetivos. Se aplicó la técnica Árbol de objetivos con lo cual se logró identificar el objetivo principal y secundarios.

Árbol de Objetivos

Con el objetivo de estructurar la investigación y definir los indicadores se obtuvo el árbol de objetivos como se observa en la figura N°41.

Figura N° 41: Árbol de problemas

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Figura N° 42: Árbol de objetivos

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Objetivo Principal

Elaborar una mejora en el sistema de gestión de mantenimiento utilizando el RCM en el proceso de producción y extendido de asfalto

Objetivos Específicos

- Incrementar el OEE en 2%
- Incrementar el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 30%
- Reducir el tiempo medio por reparación (MTTR) en un 40%

Finalmente, con la elaboración del árbol de objetivos tenemos una visualización de la situación futura en torno al problema antes detectado, con ello podemos asegurar que podemos resolver el problema implementando una metodología de mejora continua aplicada al mantenimiento.

Para ello en el próximo capítulo definiremos cuál de las metodologías de mantenimiento es la más conveniente para nuestra área y obtener resultados esperados en el corto plazo.

CAPITULO III – PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se evaluará la mejor alternativa de solución que permitirá solucionar las principales causas que tanto afecta. Una vez justificada la mejor alternativa de solución se presentará los cambios que se tiene que hacer en el proceso de mantenimiento de la máquina Planta de Asfalto Terex para lograr resultados óptimos en la rentabilidad del proyecto.

Jerarquización de criterios de selección

Por otro lado, se realizará un análisis con la jefatura de tal manera que sea una solución que cubra las expectativas de nuestros clientes internos y poder tener el consentimiento y compromiso del área. Para este caso se utilizará la **matriz de ponderación mediante el uso del ranking de factores**, para tener los criterios de evaluación que el área requiere. A continuación, se describe cuáles son los principales factores que preocupa al área y su definición:

1. Probabilidad de ejecución exitosa: A mayor probabilidad, mayor éxito de ejecución.
2. Fácil implementación: Dicha implementación tiene que ser sencilla pero eficaz sin caer en complejidades.
3. Retorno de inversión: La inversión que se realice para desarrollar el proyecto se debe recuperar en el menor tiempo posible.
4. Duración de implementación: el tiempo para la implementación de esta metodología deberá de ser el más corto posible.
5. Uso de recursos: La estimación de recursos, ya sea económica, humana, tecnológica u otra, tendrá que ser apropiada a los costos que genere la inversión con la finalidad de calcular el beneficio de la mejora en el tiempo.

Evaluación y Selección de la metodología

Con los puntos coordinados con la jefatura, se determinará cuál de estos factores que tiene mayor peso para la evaluación de las propuestas de mejora. Para este caso se utilizará Matriz de priorización de Holmes¹³⁸ que nos ayudará a ponderar los criterios de evaluación como se muestra Tabla N° 34.

¹³⁸ Cfr. Nava, C.2014: 1-4

Tabla N° 34: Matriz de Ponderación de Factores

FACTORES DE DECISIÓN	Probabilidad de ejecución	Fácil implementación	Retorno de inversión	Duración de implementación	Uso de recursos	CONTEO	PESO DE DECISIÓN
Probabilidad de ejecución exitosa		1	0	1	1	3	30%
Fácil implementación	0		0	0	1	1	10%
Retorno de inversión	1	1		1	1	4	40%
Duración de implementación	0	1	0		0	1	10%
Uso de recursos	0	0	0	1		1	10%

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Con la tabla N°34 mostrada se concluye que la jefatura tiene un gran interés en el **“Retorno de inversión”** y **“Probabilidad de ejecución exitosa”**. Finalmente elaboramos la Tabla N° 35 para determinar el Ranking de factores y poder seleccionar la mejor alternativa.

Tabla N° 35: Rango de calificación

Fuente: Nava, C.2014: 1-4

Tabla N° 36: Ranking de factores

FACTORES DE DECISIÓN	PESO DE DECISIÓN	RCM		TPM		PMO		WCM		MTTO. PROACTIVO/ REACTIVO	
		CA LF.	PUN TAJE	CA LF.	PUN TAJE	CA LF.	PUN TAJE	CA LF.	PUN TAJE	CALF .	PUNTAJ E
Probabilidad de ejecución exitosa	30%	9	2.7	5	1.5	3	0.9	3	0.9	4	1.2
Fácil implementación	10%	7	0.7	2	0.2	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Retorno de inversión	40%	8	3.2	5	2	2	0.8	3	1.2	3	1.2
Duración de implementación	10%	6	0.6	2	0.2	2	0.2	2	0.2	2	0.2
Uso de recursos	10%	6	0.6	2	0.2	2	0.2	2	0.2	2	0.2
			7.8		4.1		2.4		2.8		3.1

Fuente: Elaboración propia

Con esta matriz se concluirá de manera contundente que el RCM es la mejor alternativa de solución que va a cubrir las expectativas de la jefatura y al mismo tiempo va a solucionar las 4 principales causas que impactan en el 80% del problema. Finalmente, se concluirá que para el presente proyecto la metodología del RCM, es la más adecuada.

Vinculación de la causa con la solución

En la Tabla N° 37, se observa los resultados para cada metodología comparada con las causas principales. Se consideró: 1 al 5 (1=Nada importante, 2= Poco Importante, 3= Regular, 4= Importante, 5= Muy Importante). Cabe resaltar que el concepto teórico de comparativo fue indicado en el marco teórico del capítulo 1.

Tabla N° 37: Ponderación de causas principales vs metodología

METODOLOGÍA	CAUSAS PRINCIPALES				MATRIZ				PONDERACIÓN
	1. No se aplica métodos correctivos y preventivos inapropiados	2. Falta de indicadores de gestión deficientes	3. Falta de formatos de inspección y control de mantenimiento	4. Falta de equipos disponibles por reparaciones	GENERALIZADA				
TPM (Mantenimiento Productivo Total)	4	2	3	2	0,36	0,20	0,30	0,20	1,06
RCM (Mantenimiento Basado en la confiabilidad)	5	2	4	3	0,45	0,20	0,40	0,30	1,35
PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado)	1	2	1	1	0,09	0,20	0,10	0,10	0,49
MP (Mantenimiento Preventivo)	1	4	2	4	0,09	0,40	0,20	0,40	1,09
Total	11	10	10	10	1	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia

Diseño de la propuesta

Proceso de implementación

Para el inicio de la implementación se planteará formar grupos multidisciplinarios que tiene que estar formado por la Gerencia de mantenimiento y de producción, supervisores, técnicos y operarios. Lo cual se asignará un Líder de RCM. Para ello se propone los siguientes pasos de la metodología RCM, como se observa en la Figura N° 43.

Figura N° 43: Proceso de implementación RCM

Fuente: Traducción propia a partir de Lehan 2012

Cálculo de confiabilidad de los equipos de producción:

El siguiente cálculo que se va a mostrar, representará el comportamiento que tienen los equipos a lo largo de un mes, esto se realizará con el fin de identificar cual es el equipo más vulnerable o critico a las fallas.

Antes de empezar el cálculo, realizaremos el listado de los equipos que intervienen en el proceso de producción y extendido de asfalto y analizaremos los datos del Tiempo Medio Entre Fallas MTBF.

Tabla N° 38: Lista de equipos

CENTRO DE COSTO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
EPE25336DL1	PLANTA DE ASFALTO TEREX
EPE25336DL2	RODILLO TANDEM CAT CB534D
EPE25336DL3	RODILLO NEUMÁTICO PS360C
EPE25336DL4	CARGADOR FRONTAL CAT 962H
EPE25336DL5	RODILLO COMPACTADOR CS533E
EPE25336DL7	ESPARCIDORA DE ASFALTO AP1055B 8BM

Elaboración propia Fuente: Área de mantenimiento/planeamiento de equipos- ICCGSA

Luego de realizar el análisis en el diagrama de Pareto de las paradas de mantenimiento por equipo en el Capítulo 2, se evaluara nuevamente a los equipos de producción realizando el análisis de confiabilidad para establecer una jerarquización o priorización de los equipos; esto nos permitirá crear una estructura que facilitará que la toma de decisiones sea la correcta y adecuada direccionando los esfuerzos y los recursos empleados al equipo más importante y donde es necesario mejorar la confiabilidad.

Para ello empezaremos analizando los datos del Tiempo Medio Entre Fallas MTBF por equipo.

Figura N° 44: MTBF por equipo

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Con los datos de MTBF de los equipos utilizaremos la fórmula de la distribución de Weibull ya que “La distribución de Weibull es muy útil debido a que es la más inclusiva de todas las distribuciones y puede indicar qué sección de la curva en forma de tina de baño es sobresaliente. Las distribuciones de Weibull son mejores para el manejo de datos que pueden tener un número de características únicas y conforme a distribuciones diferentes en tiempos diferentes.

La versatilidad de la distribución Weibull permite adecuar cada una de las diferentes distribuciones explicadas en la estadística, en una distribución utilizable. Esta distribución puede usarse para descifrar muchos tipos de problemas y es muy adecuada cuando se trata de fenómenos de la vida útil de los componentes y piezas”¹³⁹.

La fórmula de la distribución de Weibull es la siguiente:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Antes de realizar el cálculo revisamos los valores de beta β que se considera para los equipos de producción.

¹³⁹ Cfr. Ahoy, Ch. 2013

Figura N° 45: Interpretación de la variable Beta

Traducción propia Fuente: Ahoy, Ch. 2013

La fórmula presentada es fruto de la distribución de Weibull, lo cual tomaremos de la imagen mostrada como valor de beta $\beta = 2$ por el motivo de que son fallas por desgaste del sistema (todas las maquinas ya pasaron su periodo de vida útil de acuerdo con el horómetro). La variable eta η que representa la característica de vida lo hallaremos con el dato del MTBF.¹⁴⁰ En la Tabla N°39 mostramos un resumen de los valores que reemplazaremos en la fórmula de la distribución de Weibull.

Tabla N° 39: Cálculos de las variables ETA de los equipos

VARIABLES	EPE2533 6DL1	EPE2533 6DL2	EPE2533 6DL3	EPE2533 6DL4	EPE2533 6DL5	EPE2533 6DL7
Beta (Parámetro pendiente)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Eta (Característica de vida)	91.94	126.74	139.25	118.48	126.38	144.96
MTBF (Horas)	81.48	112.32	123.41	105.00	112.00	128.47

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N°40 se calcula la confiabilidad que tienen los 6 equipos a lo largo de 30 días.

¹⁴⁰ Cfr. Mendoza, H. 2012

Tabla N° 40: Disponibilidad de los equipos en 30 días

DÍA	EPE25336DL1	EPE25336DL2	EPE25336DL3	EPE25336DL4	EPE25336DL5	EPE25336DL7
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1	98%	99%	99%	99%	99%	99%
2	93%	96%	97%	96%	96%	97%
3	86%	92%	94%	91%	92%	94%
4	76%	87%	89%	85%	87%	90%
5	65%	80%	83%	77%	80%	84%
6	54%	72%	77%	69%	72%	78%
7	43%	64%	69%	60%	64%	71%
8	34%	56%	62%	52%	56%	64%
9	25%	48%	55%	44%	48%	57%
10	18%	41%	48%	36%	41%	50%
11	13%	34%	41%	29%	34%	44%
12	9%	28%	34%	23%	27%	37%
13	6%	22%	29%	18%	22%	31%
14	4%	17%	23%	13%	17%	26%
15	2%	13%	19%	10%	13%	21%
16	1%	10%	15%	7%	10%	17%
17	1%	7%	12%	5%	7%	14%
18	0%	5%	9%	4%	5%	11%
19	0%	4%	7%	2%	4%	8%
20	0%	3%	5%	2%	3%	6%
21	0%	2%	4%	1%	2%	5%
22	0%	1%	3%	1%	1%	4%
23	0%	1%	2%	0%	1%	3%
24	0%	1%	1%	0%	1%	2%
25	0%	0%	1%	0%	0%	1%
26	0%	0%	1%	0%	0%	1%
27	0%	0%	0%	0%	0%	1%
28	0%	0%	0%	0%	0%	0%
29	0%	0%	0%	0%	0%	0%
30	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, podemos indicar que a partir del 3er día la maquina 6DL1 ya empieza con una tasa de confiabilidad menor al 90%, lo cual es inferior al valor deseado que requiere la empresa.

En el caso de la maquina 6DL7, es al 5to día de operación que su tasa de confiabilidad está por debajo de lo recomendado.

Con los datos mostrados en la tabla de la confiabilidad plasmamos el comportamiento que tienen los equipos a lo largo de 30 días.

Figura N° 46: Comportamiento de la disponibilidad de los equipos

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Como se observa en la Figura N°46 nos permite ver el comportamiento de la confiabilidad de los equipos que tiene la empresa en dicho proyecto, lo cual el equipo EPE25336DL1 es el más vulnerable para las fallas, por otro lado, se observa que después del décimo día todos los equipos tienen una confiabilidad inferior al 50%.

Concluimos que se le va a dar prioridad al equipo EPE25336DL1 por tener un valor de disponibilidad más baja, Lo cual esto va a ser tomado como referencia en la distribución de presupuesto de mantenimiento para los equipos.

Figura N° 47: Disponibilidad de los equipos en el 5to día

EQUIPOS	CONFIABILIDAD (5to día)
EPE25336DL1	65%
EPE25336DL2	77%
EPE25336DL3	80%
EPE25336DL4	80%
EPE25336DL5	83%
EPE25336DL7	84%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 47 la planta de asfalto es un equipo crítico, por lo tanto, direccionaremos el esfuerzo y los recursos para mejorar su confiabilidad.

Luego de tener claro el proceso del RCM para este proyecto, procederemos a implementar el AMEF, con la finalidad de jerarquizar las fallas por sistemas y tener medible cuales de estas son las más recurrentes en la máquina Planta de Asfalto Terex que estamos evaluando y así poder tener un mejor panorama para disminuir las fallas en el equipo e implementando acciones de mejora. La máquina Planta de Asfalto Terex está dividido en 4 sistemas según sus fallas:

- Sistemas Eléctrico
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Motor
- Chasis y recepción de MAC

Elaboración del AMEF

Previo a ello elaboramos los criterios de análisis para la obtención del NPR. Los criterios por evaluar son Gravedad de la falla, ocurrencia de la falla y detección de la falla, dicho resultado se genera por la multiplicación de estos tres criterios de probabilidad.¹⁴¹

$$\text{NPR} = G \times O \times D$$

Para mayor entendimiento explicaremos cada uno de estos criterios a continuación.

Gravedad: Está basado únicamente en el efecto de fallo.

Tabla N° 41: Gravedad de fallas

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Fuente: Elaboración propia a partir de Rahardjo, B.

Ocurrencia: La frecuencia en la cual se presentan las fallas, cuando se asigna esta clasificación, se deben considerar dos probabilidades:

- La probabilidad de que se produzca una falla.
- La probabilidad de que, una vez ocurrida la falla, esta provoque el efecto nocivo indicado

Detección: Este indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ser informado. Se está definiendo la “no detección”, para que el índice de prioridad crezca de forma análoga del resto de índices a medida que aumenta el riesgo.

Este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa¹⁴².

¹⁴¹ Cfr. Küçük y otros, 2016

¹⁴² Cfr. Rahardjo, B 2016

Tabla N° 42: Ocurrencia y detección de fallas

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en mas de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Elaboración propia a partir de Rahardjo, B.

A continuación, presentamos las características de análisis del NPR, el cual evaluaremos como aceptable, inaceptable y reducción deseable.

Puntajes de AMEF

NPR > 200	Inaceptable (I)
200 > NPR > 125	Reducción deseable (R)
125 > NPR	Aceptable (A)

Con este resultado tendremos por orden de puntaje de mayor a menor cuales son las fallas por sistemas más frecuentes, gravedad y prioridad que se tienen en la máquina Planta de Asfalto Terex. Teniendo claro estos conceptos procedemos a realizar las tablas del AMEF por sistemas de falla.

A continuación, mostramos la Tabla N° 43, el cual detallas las fallas ocasionadas en todo el año 2017 con respecto a la máquina Planta de Asfalto Terex, este sistema es vital para activación ya que dicho sistema acciona todos los componentes del equipo.

Tabla N° 43: AMEF Sistema Eléctrico

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX						N.º AMEF: 1			
Sistema: Eléctrico					Fecha: 30-06-2018				
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Tablero de control	Monitorea el desempeño del equipo	Fuerza irregular	Pérdida de movimiento	Cables de las fases R,S y T invertidas entre sí.	correctivo	6	2	8	96
				Tensión de alimentación debajo o encima del Limite	correctivo	6	2	8	96
				Diferencia de tensión entre fases	correctivo	6	2	8	96
				Caída de una fase de alimentación	correctivo	6	2	8	96
Caja de Fusibles	Proteger de cortocircuito	Fusibles quemando con frecuencia	Calentamiento del equipo	Temporizadores de partida compensada con tiempos muy cortos o invertidos	correctivo	8	4	7	224
				Cortocircuito en los cables de alimentación	correctivo	8	4	7	224
				Fusible sin retardo	correctivo	8	4	7	224
Generador de corriente trifásica	Suministra energía para instalaciones de calefacción	Ruido extraño en la faja	Energía insuficiente	Tensión insuficiente de la faja	correctivo	6	8	5	240
		No genera energía	Temperatura insuficiente	Desgaste interno	correctivo	6	8	5	240
Alternador	Generar corriente continua	Carga de batería insuficiente	Motor no arranca	Desgaste de carbones	correctivo	6	8	4	192
Arrancador	Girar el motor para inicio de arranque	Baja potencia de giro	Dificultad de arranque	Desgaste de colector	correctivo	7	9	3	189
Batería	Acumular energía	Acumulación insuficiente de energía	Equipo parado	Bajo nivel de líquido de batería	correctivo	9	6	3	162
		Carga excesiva de batería	Recalentamiento de batería	Alternador defectuoso	correctivo	9	6	3	162

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 44: AMEF Sistema Hidráulico

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX					Fecha: 30-06-2018	N.º AMEF: 2			
Sistema: Hidráulico									
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Bomba Hidráulica	Proveer presión hidráulica a los cilindros del sistema	Baja presión del sistema	No se bombea el aceite hidráulico	La bomba hidráulica se encuentra dañada	Correctivo	9	2	8	144
			La bomba hidráulica no funciona porque no tiene potencia	El circuito de alimentación de la bomba se encuentra defectuoso	Correctivo	9	2	8	144
Mangueras Hidráulicas	Permite el transporte de aceite hidráulico a presión	Fuga de aceite hidráulico	Caída de presión en la línea	Rotura y/o desgaste de manguera hidráulica	Correctivo	7	6	8	336
			Temperatura de fluido inapropiado	Rotura y/o desgaste de manguera hidráulica	Correctivo	7	6	8	336
Filtros Hidráulicos	Separar partículas contaminantes que puedan ingresar al sistema	filtros tapados o impregnadas con aceite	Obstrucción en el funcionamiento de la bomba hidráulica	Filtro roto y/o desgastado	Correctivo	6	8	5	240
			Avería y deterioro de los cilindros hidráulicos	Filtro roto y/o desgastado	Correctivo	6	8	5	240
Cuerpo de válvulas	Entregar y transportar aceite a presión por las mangueras hacia los cilindros	No dosifica aceite hidráulico	Sobrecalentamiento del sistema hidráulico	Las válvulas se encuentran con suciedad o contaminantes	Correctivo	8	8	4	256
			Pérdida de presión y mal funcionamiento de la transmisión	las válvulas se encuentran dañadas y/o desgastadas	Correctivo	8	8	4	256

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 45: AMEF Sistema de Motor

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX						Fecha: 30-06-2018		N.º AMEF: 3	
Sistema: Motor									
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Bomba de inyección	Distribuir combustible a alta presión	Baja presión de combustible	Dificultad de arranque	Desgaste de accesorios	Correctivo	9	2	4	72
Turbo compresor	Comprime el aire para la cámara de combustión	Fuga de aire	Perdida de potencia del motor	Rotura de mangueras	Correctivo	9	2	6	108
		Resumen de aceite	Consumo de aceite	Desgaste de accesorios	Correctivo	9	2	6	108
Bomba de aceite	Enviar aceite para que lubrique las partes en movimiento	Baja presión de aceite	Desgaste de piezas móviles	Desgaste interno	Correctivo	6	8	5	240
		Eje de salida del reductor parado, a pesar de que el motor esté girando o la transmisión de entrada girando	Falla entre eje y engranaje causando interrupción de la transmisión	No llega a lubricar	Correctivo	6	8	5	240
		Fuga de aceite del reductor	Clausura con defecto	Contaminación, ruidos continuos, desgaste de componentes internos.	Correctivo	6	8	5	240
			Retentor dañado		Correctivo	6	8	5	240
			Tapón de respiración dañado		Correctivo	6	8	5	240
Bomba de agua	Circular el refrigerante	Fuga de refrigerante	Bajo nivel de refrigerante	Desgaste de sellos	Correctivo	6	6	3	108
		Baja presión de circulación	Recalentamiento del motor	Rotura de alabe	Correctivo	6	6	3	108
Filtros de combustible	Eliminar impurezas	obstrucción del sistema	No arranca el motor	Combustible de baja calidad	Correctivo	7	9	3	189

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 46: AMEF Chasis y recepción de MAC

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX					Fecha: 30-06-2018	N.º AMEF: 4			
Sistema: Chasis y recepción de MAC									
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Puerta frontal de la tolva	Asegurar el transporte optimo del material	Perdida de material	Alimentación insuficiente de material	Cilindro de accionamiento defectuoso	Correctivo	9	2	3	54
Rodillo de empuje	Soportar la carga del camión	Sonido inusual en el rodillo	Traslado defectuoso del equipo	Rodamientos desgatados	Correctivo	7	2	8	112
Cilindros de levante de la tolva	Abrir y cerrar la tolva de recepción	Abertura insuficiente de la tolva	Recepción insuficiente del material	Cilindros defectuosos	Correctivo	6	8	5	240
Faja y cadena de transporte	Suministrar la mezcla y/o material	Suministro insuficiente	Bajo rendimiento de extendido	Faja transportadora defectuosos	Correctivo	6	9	2	108
Sinfin de distribución	Distribuir la mezcla	Distribución defectuosa	Material insuficiente en la regla	Desgaste de aletas del sinfin	Correctivo	6	7	4	168

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Luego de realizar los cinco cuadros de AMEF por sistemas, procedemos a jerarquizar los puntajes de mayor a menor el cual mostramos a continuación.

Tabla N° 47: Resultado de NPR según los cuadros AMEF

SUBSISTEMA	NPR	CARACTERISTICA
Mangueras Hidráulicas	336	INACEPTABLE
Cuerpo de válvulas	256	INACEPTABLE
Generador de corriente trifásica	240	INACEPTABLE
Filtros Hidráulicos	240	INACEPTABLE
Bomba de aceite	240	INACEPTABLE
Cilindros de levante de la tolva	240	INACEPTABLE
Caja de Fusibles	224	INACEPTABLE
Alternador	192	REDUCCION DESEABLE
Arrancador	189	REDUCCION DESEABLE
Filtros de combustible	189	REDUCCION DESEABLE
Sinfin de distribución	168	REDUCCION DESEABLE
Batería	162	REDUCCION DESEABLE
Bomba Hidráulica	144	REDUCCION DESEABLE
Rodillo de empuje	112	ACEPTABLE
Turbo compresor	108	ACEPTABLE
Bomba de agua	108	ACEPTABLE
Faja y cadena de transporte	108	ACEPTABLE
Tablero de control	96	ACEPTABLE
Bomba de inyección	72	ACEPTABLE
Puerta frontal de la tolva	54	ACEPTABLE

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Como vemos en el cuadro tenemos 7 fallas inaceptables, 6 de reducción deseable y 7 aceptables, pero esta tabla solo indica las fallas y su nivel de importancia a través del NPR. Es necesario saber con qué frecuencia aparecen dichas fallas, el nivel de importancia que tiene para el proyecto y sus costos. En base a esta necesidad procedemos a realizar el análisis de criticidad respectivo.

Análisis de criticidad

En esta etapa se jerarquizará los sistemas principales que componen la máquina Planta de Asfalto Terex, con la finalidad de optimizar su funcionamiento mediante la mejora de su mantenimiento y control.

Los criterios empleados son:

- Frecuencia de fallas (cantidad de fallas en un determinado tiempo)
- Impacto operacional (Son las consecuencias de tener el equipo inoperativo para el proyecto.)
- Flexibilidad operacional (el equipo es crítico o no para dicho proceso de producción determinada)
- Costes de mantenimiento (costo de parada de un equipo)
- Impacto en seguridad, medio ambiente e higiene. (el impacto que tiene según las normas de calidad, seguridad y medio ambiente que son exigencias del proyecto)

Luego procedemos a dar una ponderación, por ello, realizamos reuniones con el personal involucrado en mantenimiento, con presencia de la Gerencia y así tener claro que puntos son los más relevante para el área y la empresa. Los resultados se muestran en la Tabla N° 49.

Tabla N° 48: Ponderación de criterios del análisis de criticidad

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1
Impacto Operacional	
Parada total del equipo y repercute a otros equipos o sistemas	10
Parada parcial del equipo	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad por debajo de lo normal	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1
Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o Existe equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1
Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 2000 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 2000 (incluye repuestos)	1
Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Elaboración propia a partir de TORNÉ, I. G., CHOY, S. L., & CASTILLO Serpa

Con estos criterios procedemos a crear la escala de referencias en la base a su jerarquía e importancia, esta información fue realizada de la mano con la Gerencia del área, como se muestra en la Tabla N° 49.

Tabla N° 49: Escala de referencias

ESCALA DE REFERENCIA	CANT
CRITICO	$X > 30$
IMPORTANTE	$20 \leq X \leq 30$
REGULAR	$10 \leq X \leq 10$
OPCIONAL	$X < 10$

Fuente: Elaboración propia a partir de TORNÉ, I. G., CHOY, S. L., & CASTILLO Serpa

Luego procedemos a crear el cuadro de criticidad respectivo reflejado en la Tabla N° 50. En dicha tabla mostramos que subsistemas son críticos para resolver, darle mayor seguimiento y control.

Tabla N° 50: Cuadro de criticidad

SUBSISTEMA	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FELIXIBILIDAD	COSTOS DE MTTO.	IMPACTO SHA	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACION	PRIORIDAD
Mangueras Hidráulicas	3	9	3	2	2	31	93	CRITICO	ALTA
Cuerpo de válvulas	2	8	3	2	3	29	58	CRITICO	
Filtros Hidráulicos	2	8	3	2	2	28	56	CRITICO	
Filtros de combustible	3	4	2	1	4	13	39	CRITICO	
Bomba de aceite	1	9	4	2	0	38	38	CRITICO	
Alternador	3	3	3	1	2	12	36	CRITICO	
Cilindros de levante de la tolva	1	8	4	2	0	34	34	CRITICO	
Caja de Fusibles	1	10	3	1	2	33	33	CRITICO	
Arrancador	2	6	2	2	2	16	32	CRITICO	
Generador de corriente trifásica	3	4	1	1	4	9	27	IMPORTANTE	MEDIA
Sinfin de distribución	4	4	1	1	0	5	20	IMPORTANTE	
Bomba Hidráulica	2	4	2	2	0	10	20	IMPORTANTE	
Rodillo de empuje	4	4	1	1	0	5	20	IMPORTANTE	
Batería	2	3	3	1	2	12	24	IMPORTANTE	
Bomba de agua	2	3	2	1	2	9	18	REGULAR	BAJA
Faja y cadena de transporte	1	8	2	1	0	17	17	REGULAR	
Tablero de control	1	8	2	1	0	17	17	REGULAR	
Bomba de inyección	1	7	2	2	0	16	16	REGULAR	
Turbo compresor	3	4	1	1	0	5	15	REGULAR	
Puerta frontal de la tolva	1	3	3	1	0	10	10	OPCIONAL	

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

De los resultados de la tabla anterior, podemos concluir que fallas según los 4 sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex son más críticos en base a los criterios de evaluación que son importantes para la empresa.

En resumen, tenemos las siguientes cantidades de fallas como se muestran en la Tabla N° 52 y Figura 49.

Tabla N° 51: Cantidades de las Falla

ESCALA DE REFERENCIA	CANTIDAD
CRITICO	9
IMPORTANTE	5
REGULAR	5
OPCIONAL	1

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Observamos que tenemos nueve fallas críticas que son de importancia resolver para mantener operativa la máquina Planta de Asfalto Terex.

Figura N° 48: Gráfico de criticidad de fallas

Elaboración propia

Luego de ver las cantidades de fallas críticas de la máquina Planta de Asfalto Terex el cual impacta directamente a las necesidades de la empresa, es importante saber qué sistemas se deberá priorizar en su reparación y/o mantenimiento en base a la cantidad de fallas que tenían antes de la implementación del proyecto.

Herramienta de decisión del RCM

Diagrama de decisiones

Después de realizar el análisis de las partes críticas del sistema, se elaborará el árbol lógico de decisiones de mantenimiento respectivas según el RCM¹⁴³, como se observa en la Figura 42.

Figura N° 49:Árbol lógico de decisiones de la actividad de mantenimiento

Fuente: Gangi 2015

Luego de tener claro el árbol de decisiones procedemos a realizar un análisis en base a la hoja de información y hoja de decisiones con la finalidad de establecer estrategias para las fallas encontradas.

Hoja de Información

Previamente al desarrollo de la hoja de decisiones realizaremos la hoja de información. Estas hojas de información permiten obtener las causas y modos de falla obtenidos en el AMEF.

A continuación, en la Tabla N° 52, se muestra el desarrollo de la Hoja de Información de los cuatro sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex.

¹⁴³ Cfr. Gangi 2015

Tabla N° 52: Hoja de información -Sistema Eléctrico

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX							Equipo de diseño: Jacqueline C.
Sistema: Eléctrico							
Pieza	Función que desempeña(F)		Modo de fallo potencial (FF)		Efectos potenciales de fallo (FM)		Causas potenciales de fallo
Tablero de control	1	Monitorea el desempeño del equipo	A	Fuerza irregular	1	Pérdida de movimiento	Cables de las fases R,S y T invertidas entre sí.
							Tensión de alimentación debajo o encima del Limite
							Diferencia de tensión entre fases
							Caída de una fase de alimentación
Caja de Fusibles	2	Proteger de cortocircuito	A	Fusibles quemando con frecuencia	1	Calentamiento del equipo	Temporizadores de partida compensada con tiempos muy cortos o invertidos
							Cortocircuito en los cables de alimentación
							Fusible sin retardo
Generador de corriente trifásica	3	Suministra energía para instalaciones de calefacción	A	Ruido extraño en la faja	1	Energía insuficiente	Tensión insuficiente de la faja
			B	No genera energía	1	Temperatura insuficiente	Desgaste interno
Alternador	4	Generar corriente continua	A	Carga de batería insuficiente	1	Motor no arranca	Desgaste de carbones
Arrancador	5	Girar el motor para inicio de arranque	A	Baja potencia de giro	1	Dificultad de arranque	Desgaste de colector
Batería	6	Acumular energía	A	Acumulación insuficiente de energía	1	Equipo parado	Bajo nivel de líquido de batería
			B	Carga excesiva de batería	1	Recalentamiento de batería	Alternador defectuoso

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 53: Hoja de información -Sistema hidráulico

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX							Equipo de diseño: Jacqueline C.
Sistema: Hidráulico							
Pieza	Función que desempeña(F)		Modo de fallo potencial (FF)		Efectos potenciales de fallo (FM)		Causas potenciales de fallo
Bomba Hidráulica	1	Proveer presión hidráulica a los cilindros del sistema	A	Baja presión del sistema	1	No se bombea el aceite hidráulico	La bomba hidráulica se encuentra dañada
					2	La bomba hidráulica no funciona porque no tiene potencia	El circuito de alimentación de la bomba se encuentra defectuoso
Mangueras Hidráulicas	2	Permite el transporte de aceite hidráulico a presión	A	Fuga de aceite hidráulico	1	Caída de presión en la línea	Rotura y/o desgaste de manguera hidráulica
						Temperatura de fluido inapropiado	Rotura y/o desgaste de manguera hidráulica
Filtros Hidráulicos	3	Separar partículas contaminantes que puedan ingresar al sistema	A	filtros tapados o impregnados con aceite	1	Obstrucción en el funcionamiento de la bomba hidráulica	Filtro roto y/o desgastado
					2	Avería y deterioro de los cilindros hidráulicos	Filtro roto y/o desgastado
Cuerpo de válvulas	4	Entregar y transportar aceite a presión por las mangueras hacia los cilindros	A	No dosifica aceite hidráulico	1	Sobrecalentamiento del sistema hidráulico	Las válvulas se encuentran con suciedad o contaminantes
					2	Pérdida de presión y mal funcionamiento de la transmisión	las válvulas se encuentran dañadas y/o desgastadas

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 54: Hoja de información -Sistema motor

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX							Equipo de diseño: Jacqueline C.
Sistema: Motor							
Pieza	Función que desempeña(F)		Modo de fallo potencial (FF)		Efectos potenciales de fallo (FM)		Causas potenciales de fallo
Bomba de inyección	1	Distribuir combustible a alta presión	A	Baja presión de combustible	1	Dificultad de arranque	Desgaste de accesorios
Turbo compresor	2	Comprime el aire para la cámara de combustión	A	Fuga de aire	1	Perdida de potencia del motor	Rotura de mangueras
			B	Resumen de aceite	2	Consumo de aceite	Desgaste de accesorios
Bomba de aceite	3	Enviar aceite para que lubrique las partes en movimiento	A	Baja presión de aceite	1	Desgaste de piezas móviles	Desgaste interno
			B	Eje de salida del reductor parado, a pesar de que el motor esté girando o la transmisión de entrada girando	1	Falla entre eje y engranaje causando interrupción de la transmisión	No llega a lubricar
			C	Fuga de aceite del reductor	1	Clausura con defecto	Contaminación, ruidos continuos, desgaste de componentes internos.
2	Retentor dañado						
Bomba de agua	4	Circular el refrigerante	A	Fuga de refrigerante	1	Bajo nivel de refrigerante	Desgaste de sellos
			B	Baja presión de circulación	2	Recalentamiento del motor	Rotura de alabe
Filtros de combustible	5	Eliminar impurezas	A	obstrucción del sistema	1	No arranca el motor	Combustible de baja calidad

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Tabla N° 55: Hoja de información -Chasis y recepción de MAC

Nombre del Equipo: PLANTA DE ASFALTO TEREX							Equipo de diseño: Jacqueline C.
Sistema: Chasis y Recepción de MAC							
Pieza	Función que desempeña(F)		Modo de fallo potencial (FF)		Efectos potenciales de fallo (FM)		Causas potenciales de fallo
Puerta frontal de la tolva	1	Asegurar el transporte optimo del material	A	Perdida de material	1	Alimentación insuficiente de material	Cilindro de accionamiento defectuoso
Rodillo de empuje	2	Soportar la carga del camión	A	Sonido inusual en el rodillo	1	Traslado defectuoso del equipo	Rodamientos desgatados
Cilindros de levante de la tolva	3	Abrir y cerrar la tolva de recepción	A	Abertura insuficiente de la tolva	1	Recepción insuficiente del material	Cilindros defectuosos
Faja y cadena de transporte	4	Suministrar la mezcla y/o material	A	Suministro insuficiente	1	Bajo rendimiento de extendido	Faja transportadora defectuosos
Sinfin de distribución	5	Distribuir la mezcla	A	Distribución defectuosa	1	Material insuficiente en la regla	Desgaste de aletas del sinfin

Elaboración Propia, Fuente: Empresa en estudio

Hoja de decisiones

Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las fallas, su criticidad y las tareas. Es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM¹⁴⁴:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?

En la siguiente Tabla N° 56, se muestra la hoja de decisiones propuesta, el cual es uno de los documentos estandarizados utilizados en la metodología¹⁴⁵.

¹⁴⁴ Cfr. Gangi Sergio, 2012

¹⁴⁵ Cfr. Gangi Sergio, 2012

Tabla N° 56: Propuesta de Hoja de decisión

HOJA DE DECISIONES			Sistema:							Facilitador:			Fecha:		Hoja N° 1
			Subsisema:							Autor:			Fecha:		de:
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de			TAREA PROPUESTA	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			

Fuente: Gangi Sergio 2012

El uso de la hoja de decisiones permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, en el cuadro de AMEF y criticidad de equipos, en función de dichas preguntas:

- Que mantenimiento de rutina y/o preventivo, Inspecciones se va a efectuar, además de la frecuencia y el responsable de la ejecución.
- Que fallas son tan serias que justifican el reemplazo o reparación, paradas programadas, entre otros.; estas tareas serán derivadas a la gerencia de equipos para su aprobación, ejecución y control.
- Que mantenimiento de rutina y/o preventivo, Inspecciones se va a efectuar, además de la frecuencia y el responsable de la ejecución.
- Que fallas son tan serias que justifican el reemplazo o reparación, paradas programadas, etc.; estas tareas serán derivadas a la gerencia de equipos para su aprobación, ejecución y control

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas, la cual se puede observar en la Tabla N° 57.

Tabla N° 57: Tabla de funciones de la hoja de decisión del RCM

COLUMNAS	FUNCION	UTILIDAD
F, FF, FM	Identifican el modo de falla que se analizan es esa línea	correlaciona las referencias de las Hojas de información y las Hojas de decisión
H, S, E, O y N	Evaluación de las consecuencias	Registra las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)
H1, H2, H3,S1,S2,S3,O1,O2,O3,N1,N2,N3	Registra las tareas a usarse	Registra si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así que tipo de tarea.
H4,H5, S4	Responde a las preguntas " a falta de "	Registra esas respuestas colocando S o N (Sí o No según aplique).
Ultimas 3 columnas	Registra las tareas que han sido seleccionada (si las hay), su frecuencia y el responsable.	Registro de tareas y responsable

Fuente: Gangi Sergio.:2012, Elaboración propia

Antes de realizar la Hoja de decisión, calcularemos los intervalos de mantenimiento.

Cálculo de los Intervalos de Mantenimiento

Para obtener la confiabilidad deseada; analizaremos las fallas del equipo mediante la distribución exponencial.

De acuerdo, con la teoría de confiabilidad el cálculo se realiza mediante la siguiente formula:

CÁLCULO DE CONFIABILIDAD – MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

$$R=1 - \text{EXP}^{(-t/\text{MTBF})}$$

Además, tenemos para la mantenibilidad la siguiente formula:

CÁLCULO DE MANTENIBILIDAD, FAILURE – FINDING TASK

$$\text{FFI}=2*(1-R) * \text{MTBF}$$

A continuación, se analizará la base de datos donde se tiene el registro de los horómetros asociados a las averías para hallar los intervalos de mantenimiento preventivo.

FUNCIÓN WEIBULL

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left[\frac{x - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Para un MTBF de 108 horas

CALCULO DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO	
MTBF =	108
Rata de falla =	0.006667

Fuente: Elaboración propia

Sistema motor

Tabla N° 58: Cálculo del intervalo de mantenimiento sistema Motor

HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (días)	Mantto Preventivo (días)	MITR (Hr)
0		0	100%	0%	0	0	0.00
87	87	0	100%	0%	0	0	0.22
88	0	1	99%	1%	1	1	0.25
164	77	1	98%	2%	1	2	0.27
176	11	1	98%	2%	1	2	0.35
176	1	1	98%	2%	1	2	0.45
180	3	1	98%	2%	1	2	0.49
183	3	1	98%	2%	1	2	0.50
202	20	1	98%	2%	1	2	0.52
354	151	2	97%	3%	2	3	0.53
355	1	2	97%	3%	2	3	0.57
360	5	2	95%	5%	2	6	0.75
361	1	3	94%	6%	3	6	2.59
363	2	3	94%	6%	3	6	3.1
412	48	3	93%	7%	3	7	3.5
628	217	4	92%	8%	4	8	3.6
632	4	5	91%	9%	5	9	4.6
682	49	11	80%	20%	11	20	5.4
683	1	15	75%	25%	15	25	14.1
697	15	19	68%	32%	19	32	19.5
764	66	20	67%	33%	20	33	27.8
765	1	21	66%	34%	21	34	29.6
941	176	23	63%	37%	23	37	31.9
1041	100	48	38%	62%	48	62	36.3
1135	94	49	38%	62%	49	62	41.5
2123	988	49	37%	63%	49	63	45.8
2124	2	66	26%	74%	66	74	50.1
2125	1	67	26%	74%	67	74	54.4
2146	21	68	26%	74%	68	74	58.7
2169	23	77	21%	79%	77	79	63.0
2173	3	87	17%	83%	87	83	67.2
2175	2	93	16%	84%	93	84	71.5
2194	19	94	15%	85%	94	85	75.8
2780	586	100	14%	86%	100	86	80.1
2873	93	151	5%	95%	151	95	84.4
2940	67	176	3%	97%	176	97	88.7
3008	68	203	2%	98%	203	98	93.0
3211	203	217	1%	99%	217	99	97.2
3438	227	227	1%	99%	227	99	101.5
3439	1	586	0%	100%	586	100	105.8
4116	677	677	0%	100%	677	100	110.1
4165	49	988	0%	100%	988	100	114.4

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 50: Gráfica de Confiabilidad Sistema Motor

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

En la figura N° 50 podemos observar la curva que describe a las fallas en el sistema motor, donde la confiabilidad va decayendo a lo largo del tiempo.

SISTEMA MOTOR				
CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO (Días)	MANTTO. PREVENTIVO (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Horas)
95%	5%	2	6	0.75

Falla 1A 1 – Sistema Motor

Tabla N° 59: Intervalo de mantenimiento tipo de falla 1A 1

TIPO DE FALLA	MES	HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (días)	Mantto Preventivo (días)	MTTR (min)
1A1	26.01.2017	20	0	0	100%	0%	0	0	0.00
1A1	27.01.2017	31	11	1	99%	1%	1	2	1.01
1A1	29.01.2017	36	5	1	99%	1%	1	2	1.01
1A1	30.01.2017	47	11	1	99%	1%	1	2	1.01
1A1	01.02.2017	98	51	3	98%	2%	3	6	3.06
1A1	02.02.2017	157	59	4	97%	3%	4	8	4.11
1A1	04.02.2017	182	25	4	97%	3%	4	8	4.11
1A1	06.02.2017	185	3	5	97%	3%	5	10	5.17
1A1	07.02.2017	210	25	5	97%	3%	5	10	5.17
1A1	08.02.2017	214	4	5	97%	3%	5	10	5.17
1A1	09.02.2017	221	7	7	95%	5%	7	14	7.33
1A1	10.02.2017	246	25	10	94%	6%	10	19	10.69
1A1	12.02.2017	247	1	11	93%	7%	11	20	11.84
1A1	14.02.2017	279	32	11	93%	7%	11	21	11.84
1A1	18.02.2017	284	5	11	93%	7%	11	26	11.84
1A1	19.02.2017	289	5	25	85%	15%	25	46	29.53
1A1	21.02.2017	300	11	25	85%	15%	25	30	29.53
1A1	22.02.2017	400	100	25	85%	15%	25	46	29.53
1A1	23.02.2017	401	1	25	85%	15%	25	46	29.53
1A1	24.02.2017	428	27	27	84%	16%	27	49	32.32
1A1	27.02.2017	438	10	29	82%	18%	29	53	35.19
1A1	03.03.2017	442	4	32	81%	19%	32	58	39.61
1A1	04.03.2017	467	25	32	81%	19%	32	58	39.61
1A1	06.03.2017	499	32	44	75%	25%	44	76	59.00
1A1	08.03.2017	552	53	51	71%	29%	51	86	71.65
1A1	09.03.2017	553	1	53	70%	30%	53	89	75.46
1A1	11.03.2017	597	44	59	67%	33%	59	98	87.43
1A1	13.03.2017	767	170	87	56%	44%	87	132	155.39
1A1	15.03.2017	796	29	100	51%	49%	100	146	194.77
1A1	16.03.2017	1024	228	170	32%	68%	170	203	528.02
1A1	17.03.2017	1297	273	179	30%	70%	179	209	590.35
1A1	18.03.2017	1476	179	228	22%	78%	228	234	1042.47
1A1	21.03.2017	1563	87	273	16%	84%	273	251	1684.92
1A1	22.03.2017	2025	462	462	5%	95%	462	286	10052.38

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Sistema Hidráulico

Tabla N° 60: Cálculo de Confiabilidad Sistema Hidráulico

HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (días)	Mantto Preventivo (días)	MTTR (min)
15	0	0	100%	0%	0	0	0.00
31	16	1	100%	0%	1	2	0.08
37	6	2	99%	1%	2	4	0.16
47	10	3	99%	1%	3	6	0.17
98	51	3	99%	1%	3	6	0.19
156	58	4	99%	1%	4	8	0.22
182	26	5	99%	1%	5	10	0.23
185	3	5	99%	1%	5	10	0.28
212	27	6	98%	2%	6	12	0.30
214	2	7	98%	2%	7	14	0.32
221	7	7	98%	2%	7	14	0.75
246	25	10	97%	3%	10	20	0.80
247	1	10	97%	3%	10	20	0.92
279	32	11	97%	3%	11	21	1.00
284	5	16	96%	4%	16	26	1.25
289	5	21	94%	6%	21	41	1.78
300	11	25	93%	7%	25	30	1.86
400	100	25	93%	7%	25	48	2.07
407	7	26	93%	7%	26	50	3.03
428	21	27	93%	7%	27	52	3.03
438	10	29	92%	8%	29	56	4.05
442	4	31	92%	8%	31	59	5.07
467	25	32	91%	9%	32	61	5.07
499	32	32	91%	9%	32	61	6.10
555	56	39	89%	11%	39	74	7.14
558	3	51	86%	14%	51	95	7.14
597	39	56	85%	15%	56	103	10.29
767	170	58	85%	15%	58	107	10.29
796	29	87	78%	22%	87	154	11.35
1024	228	100	75%	25%	100	174	16.75
1297	273	170	62%	38%	170	269	17.75
1476	179	179	60%	40%	179	280	18.75
1563	87	228	52%	48%	228	335	16.90
2025	462	273	46%	54%	273	379	17.90
2056	31	462	27%	73%	462	513	18.91
3200	1144	1144	4%	96%	1144	673	19.91

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 51: Gráfica de Confiabilidad Sistema Hidráulico

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA
 En la figura N° 51 podemos observar la curva que describe a las fallas en el sistema hidráulico, donde la confiabilidad va decayendo a lo largo del tiempo.

SISTEMA HIDRÁULICO				
CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO (Días)	MANTTO. PREVENTIVO (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Horas)
95%	5%	16	26	1.25

Sistema Eléctrico

Tabla N° 61: Cálculo de Confiabilidad Sistema Eléctrico

HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (días)	Mantto Preventivo (días)	MTTR (Hr)
0		0	100%	0%	0	0	0.00
65	65	1	100%	0%	2	4	1.01
66	1	2	99%	1%	5	10	1.03
113	47	5	99%	1%	6	11	1.04
181	68	5	99%	1%	10	21	1.07
250	69	6	98%	2%	15	31	1.16
1210	960	6	98%	2%	18	36	1.55
1215	5	9	97%	3%	21	41	1.77
1838	623	10	97%	3%	21	42	2.49
1927	89	10	96%	4%	30	58	2.51
2100	173	15	95%	5%	40	78	5.25
2300	200	18	94%	6%	15	96	6.15
2380	80	20	93%	7%	18	112	6.54
2500	120	21	92%	8%	21	127	6.89
2673	173	22	92%	8%	22	133	7.00
2678	6	22	89%	11%	30	178	8.54
2700	22	30	85%	15%	40	237	9.35
2750	50	40	83%	17%	48	280	10.17
2800	50	47	82%	18%	50	290	10.98
2818	18	50	82%	18%	50	290	11.80
2839	21	50	80%	20%	56	320	12.61
3000	161	56	77%	23%	65	366	13.43
3040	40	65	76%	24%	67	377	14.24
3128	88	67	76%	24%	69	387	15.06
3143	15	68	73%	27%	80	438	15.87
3152	9	69	70%	30%	88	473	16.69
3208	56	80	70%	30%	89	481	17.50
3275	67	88	67%	33%	100	527	18.32
3277	2	89	63%	37%	117	597	19.13
3287	10	100	62%	38%	118	601	19.95
3500	213	118	62%	38%	120	610	20.76
3660	160	120	55%	45%	150	720	21.58
3665	5	160	53%	47%	160	757	22.39
3943	278	161	53%	47%	161	759	23.21
3965	22	173	51%	49%	166	777	24.02
3994	30	173	50%	50%	173	798	24.84
4000	6	200	45%	55%	200	881	25.65
4118	118	213	43%	57%	213	918	26.47
4500	382	278	38%	62%	240	987	27.28
5000	500	280	33%	67%	280	1078	28.10
5010	10	382	32%	68%	284	1086	28.91
5600	590	500	24%	76%	360	1221	29.73
5880	280	590	22%	78%	382	1253	30.54
5980	100	623	14%	86%	500	1383	31.36
6000	20	800	13%	87%	506	1389	32.17
6980	980	960	8%	92%	623	1468	32.99
7780	800	980	2%	98%	1000	1571	33.80

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 52: Gráfico de Confiabilidad Sistema Eléctrico

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la figura N° 52 podemos observar la curva que describe a las fallas en el sistema hidráulico, donde la confiabilidad va decayendo a lo largo del tiempo.

SISTEMA ELÉCTRICO				
CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO (Días)	MANTTO. PREVENTIVO (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Hrs)
95%	5%	40	78	5.25

Sistema Chasis y Recepción de MAC

Tabla N° 62: Cálculo de Confiabilidad Sistema Chasis y Recepción de MAC

HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (días)	Mantto Preventivo (días)	MTTR (Hr)
0	0	0	100%	0%	0	0	0.00
171	171	1	100%	0%	1	1	0.50
241	70	1	100%	0%	1	1	0.53
434	192	1	100%	0%	1	1	0.74
444	10	1	100%	0%	1	2	1.07
545	101	2	99%	1%	3	7	2.00
546	1	2	99%	1%	8	16	2.15
606	60	3	99%	1%	10	26	2.20
632	27	3	99%	1%	12	39	2.20
633	1	8	97%	3%	13	40	2.23
634	1	10	96%	4%	50	90	2.24
637	3	12	96%	4%	64	138	2.24
639	2	13	95%	5%	75	156	2.25
641	2	20	93%	7%	20	146	3.34
1042	401	20	93%	7%	78	164	8.15
1054	12	21	93%	7%	88	181	10.40
1067	13	25	91%	9%	99	198	11.70
1087	20	27	91%	9%	110	215	13.06
1697	610	29	90%	10%	121	232	19.68
1801	104	40	87%	13%	131	250	20.27
1804	3	60	81%	19%	142	267	21.39
2193	389	67	79%	21%	153	284	25.51
2201	8	70	78%	22%	70	301	26.90
2268	67	71	78%	22%	164	319	29.66
2269	1	73	77%	23%	174	336	40.45
2340	71	93	72%	28%	185	353	61.13
2361	21	101	70%	30%	196	370	68.01
2522	161	104	69%	31%	206	387	72.03
2781	259	161	56%	44%	217	405	72.99
2801	20	166	55%	45%	228	422	74.29
2874	73	171	54%	46%	239	439	95.49
3039	166	192	50%	50%	192	456	104.65
3079	40	259	40%	60%	249	474	107.95
3172	93	389	25%	75%	249	491	170.03
3197	25	401	24%	76%	260	508	174.96
3226	29	610	11%	89%	271	525	180.97
4155	929	845	5%	95%	282	542	205.05
5000	845	929	4%	96%	292	560	281.91

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 53 Gráfico de Confiabilidad Sistema Chasis y Recepción de MAC

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

En la figura N° 53 podemos observar la curva que describe a las fallas en el sistema hidráulico, donde la confiabilidad va decayendo a lo largo del tiempo.

SISTEMA DE CHASIS Y RECEPCIÓN DE MAC				
CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO O (Días)	MANTTO. PREVENTIVO O (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Hrs)
95%	5%	75	156	2.25

Consolidado de intervalos de mantenimiento por sistema:

Tabla N° 63: Consolidado de intervalos de mantenimiento por sistema

SISTEMA	CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO (Días)	MANTTO. PREVENTIVO (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Hrs)
MOTOR	95%	5%	2	6	0.75
HIDRÁULICO	95%	5%	16	26	1.25
ELÉCTRICO	95%	5%	40	78	5.25
CHASIS Y RECEPCIÓN DE MAC	95%	5%	75	156	2.25

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Consolidado de intervalos de mantenimiento por tipo de falla:

Tabla N° 64: Consolidado de intervalos de mantenimiento por tipo de falla

TIPO DE FALLA	CONFIABILIDAD DESEADA	PROBABILIDAD DE FALLA	MANTTO. PREDICTIVO (Días)	MANTTO. PREVENTIVO (Días)	TIEMPO POR REPARACIÓN (Hrs)
MOTOR	95%	5%	3	6	0.75
1A1	95%	5%	29	14	1.25
2A1	95%	5%	20	35	5.25
2B2	95%	5%	11	45	2.25
3A1	95%	5%	15	60	0.92
3B1	95%	5%	23	60	1.00
3C1	95%	5%	19	90	1.25
3C2	95%	5%	13	60	1.78
3C3	95%	5%	19	90	1.86
4A1	95%	5%	12	30	2.07
4B2	95%	5%	8	90	1.25
5A1	95%	5%	23	180	5.25
HIDRÁULICO	95%	5%	16	26	2.25
1A1	95%	5%	15	60	3.026
1A2	95%	5%	15	Diario	3.026

2A1	95%	5%	14	90	4.046
3A1	95%	5%	14	180	5.072
3A2	95%	5%	14	90	5.072
4A1	95%	5%	13	2	6.104
4A2	95%	5%	14	15	1.86
ELÉCTRICO	95%	5%	14	78	5.25
1A1	95%	5%	14	Diario	4.77
2A1	95%	5%	32	180	4.94
3A1	95%	5%	32	90	5.11
3B1	95%	5%	39	Diario	5.29
4A1	95%	5%	51	90	3.026
5A1	95%	5%	56	30	3.026
6A1	95%	5%	56	Diario	5.80
6B1	95%	5%	78	180	5.97
CHASIS Y RECEPCIÓN DE MAC	95%	5%	75	156	2.25
1A1	95%	5%	50	Diario	4.77
2A1	95%	5%	56	14	4.94
3A1	95%	5%	65	90	5.11
4A1	95%	5%	67	Diario	5.29
5A1	95%	5%	69	—	3.026

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

A continuación, mostramos el desarrollo de la implementación de la Hoja de decisiones en función de la Hoja de Información desarrollada líneas arriba en la Tabla N° 57 y los intervalos de mantenimiento de la Tabla N°65.

Tabla N° 65: Hoja de decisión de los sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex

HOJA DE DECISIONES			Siste ma :										Facilitador : Jacqueline				Fecha :	Hoja : N° 1
			Sub siste ma :										Auditor :					
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a " Falta de "			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a= año, m= mes , s= semana , d= día)	A realizarse por:			
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3									
							N1	N2	N3	H4	H5	S4						
Sistema Motor																		
1	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	14 d	Mecánico			
2	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	35 d	Inspector Mtto			
2	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	1.5 Meses	Mecánico			
3	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	2 Meses	Mecánico			
3	B	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	2 Meses	Mecánico			
3	C	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	3 Meses	Mecánico			
3	C	2	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	6 Meses	Inspector Mtto			
3	C	3	S	N	N	S	S						Tarea a condición	3 Meses	Mecánico			
4	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	1Mes	Mecánico			
4	B	2	N	N	N	N	N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallos	3 Meses	Mecánico			
5	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	6 Meses	Mecánico			
Sistema Hidráulico																		
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	2 Meses	Mecánico			
1	A	2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Diario	Supervisor Mecánico/ Ayudante			
2	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	3 Meses	MECÁNICO			
3	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	6 Meses	Electricista/ Ayudante			
3	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	3 Meses	MECÁNICO			
4	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	2 Días	Operador del Equipo			
4	A	2	N	N	N	S	N	S	S				Tarea a reacondicionamiento cíclico	15 d	Operador			

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Tabla N° 66: Hoja de decisión de los sistemas de la máquina Planta de Asfalto Terex

HOJA DE DECISIONES			Sistema :										Facilitador : Jacqueline				Fecha :	Hoja : N° 1
			Sub sistema :										Auditor :					
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a " Falta de "			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a= año, m= mes , s= semana , d= día)	A realizarse por:			
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
							N1	N2	N3									
Sistema Eléctrico																		
1	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Diario	Operador del Equipo			
2	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	6 Meses	Electricista/ Ayudante			
3	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	3 Meses	Mecánico			
3	B	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Diario	Operador del Equipo			
4	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	3 Meses	Inspector Mecánico/ Mecánico			
5	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	Mensual	Inspector Mecánico			
6	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclico	Diario	Operador del Equipo			
6	B	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	6 Meses	Mecánico / Ayudante			
Sistema Chasis y Recepción de MAC																		
1	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	Diario	Operador del Equipo			
2	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	2 Semanas	Mecánico			
3	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	3 Meses	Mecánico			
4	A	1	N	N	N	S	N	S					Tarea a reacondicionamiento cíclico	Diario	Operador del Equipo			
5	A	1	N	N	N	N	N	N	N	S			Ningún mantenimiento Preventivo					

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Con esta tabla estamos definiendo las acciones a tomar para disminuir las fallas presentadas, mediante las tareas, intervalos y responsable.

Con esta información procedemos a realizar el plan de mantenimiento de la máquina Planta de Asfalto Terex, el cual mostramos a continuación con la Tabla N° 67.

Tabla N° 67: Plan de Mantenimiento propuesto – Planta de Asfalto Terex

SISTEMA	OPERACIONES	REPUESTOS				PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
		Item	Código	Cantidad	Unidad						
PREPARACION DEL EQUIPO	Elaboración del ATS					X	X	X	X	X	X
	Lavado del equipo					X	X	X		X	
	Lavado del equipo (Servicios PM4 Y PM6)								X		X
MOTOR	Comprobar Juego Axial del Turbo								X		X
	Comprobar Luz de Válvulas del Motor. Ajustar si Fuera Necesario	Sello tapa de balancines	119-2940	1.00	Pza				X		X
	Operar el equipo durante algunos minutos					X	X	X	X	X	X
	Obtener muestra de aceite de motor	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
		Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Obtener muestra de refrigerante de motor	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
		Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Drenar aceite de motor					X	X	X	X	X	X
	Cambiar el filtro de aceite de motor	Filtro de aceite de motor	1R-0739	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el elemento separador de agua	Filtro elemento separador de agua	151-2409	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el filtro separador de agua del tanque de combustible	Filtro separar de agua tanque	8N-9803	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Cambiar filtro de línea de combustible	Filtro de línea de combustible	119-0073	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el Filtro primario de combustible	Filtro primario de combustible	1R-0753	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el Filtro Secundario de Combustible	Filtro secundario de combustible	1R-0751	1.00	Pza	X	X	X	X	X	X
	Limpiar rejilla filtro de combustible					X					
	Cambiar rejilla filtro de combustible	Rejilla filtro de combustible	9M-2341	1.00	Pza		X	X	X	X	X
		Sello de rejilla filtro de combustible	8H-2778	1.00	Pza		X	X	X	X	X
	Limpiar alojamiento y filtro de aire de motor					X					
	Verificar indicador de restricción de filtro de aire de motor					X	X	X	X	X	X
	Cambiar el indicador de restricción del filtro de aire de motor	Indicador de restricción de aire	1W-0613	1.00	Pza						X
	Limpiar alojamiento y cambiar filtros de aire de motor	Filtro de aire primario	6I-2503	1.00	Pza		X	X	X	X	X
		Filtro de aire secundario	6I-2504	1.00	Pza		X	X	X	X	X
	Limpiar el Respiradero del Motor						X	X	X	X	X
	Cambiar respiradero de motor	Respiradero de motor	2W-9162	1.00	Pza					X	X
	Limpiar válvula vacuator					X	X	X	X	X	X
	Llenado de aceite de motor	Cat DEO SAE 15W-40	SAE 15W-40	4.00	Gln	X	X	X	X	X	X
	Cebiar sistema de combustible					X	X	X	X	X	X
	Usar limpiador de combustible	Limpiador de combustible	343-6210	1.00	Lt			X	X	X	X
	Comprobar tensiones de las fajas de motor					X	X	X	X	X	X
	Cambiar faja de ventilador	Fajas de motor	7E-0744	1.00	Pza					X	X
	Drenar refrigerante de motor										X
	Lavado del sistema de refrigeración del motor	Limpiador de radiador	NGEC	1.80	Gln						X
	Limpiar la Tapa del Radiador										X
	Cambiar el Termostato	Termostato de motor	126-5869	1.00	Pza					X	X
		Empaquetadura de termostato	4W-0549	1.00	Pza					X	X
	Llenado de refrigerante de motor	Refrigerante	ELC	8.30	Gln						X
	Agregar prolongador de refrigerante	Prolongador de refrigerante	P-ELC	0.80	Lt					X	X
	Calentamiento y prueba					X	X	X	X	X	X

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Con esta tabla estamos definiendo las acciones a tomar para disminuir las fallas presentadas, mediante las tareas, intervalos y responsable.

Con esta información procedemos a realizar el plan de mantenimiento general de la máquina Planta de Asfalto Terex, el cual mostramos a continuación con la Tabla N° 68.

Tabla N° 68: Plan de mantenimiento de máquina Planta de Asfalto Terex

N.º	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	FORMATO	A CARGO	CANTIDAD	H-H
1	Revisión del equipo antes de inicio de jornada	Diaria	Pre- uso	Operador	1	0.2
2	Revisión mecánica de todos los sistemas	Quincenal	Formato de inspección	Técnico	1	6
3	Programa de mantenimiento preventivos	250 hrs	Cartillas de Mantenimiento	Técnico	1	2
		500 hrs		Técnico	1	2.5
		1000 hrs		Técnico	2	5
		2000 hrs		Técnico	2	8

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Estandarización

Procedimientos:

Para optimizar el cumplimiento de las tareas de mantenimiento se realizó la elaboración o actualización de procedimientos, que le permitirá al técnico o contratista seguir una secuencia lógica de las distintas actividades a realizarse en la máquina Planta de Asfalto Terex. El check list de procedimiento se muestra en la Tabla 69.

Como se observa en la Figura 54, 55 y 56 se describen 3 procedimientos para las tareas de mantenimiento detalladas en la tabla anterior, con el fin de mejorar el sistema gestión de mantenimiento.

- Verificar la estabilización de red y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.
- Reemplazo de sellos y rodamientos del motor.
- Verificar la existencia de ruidos, vibraciones y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.

Tabla N° 69: Check list de procedimientos por Sistema

PROCEDIMIENTO	MODO DE FALLA	CÓDIGO DE PROCEDIMIENTO
SISTEMA: MOTOR ELÉCTRICO		
Verificar la estabilización de red y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.	1A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Cambiar motor eléctrico y verificar en el momento de remplazar el estado de los rodamientos de ser necesario remplazar al momento de ser intervenido	2A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Medir el tiempo de carga y verificar el estado de las válvulas y el anillo, en caso de que este fuera de lo normal, se debe sustituir las válvulas.	3A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Monitorear la temperatura, verificar la existencia de ruido y vibraciones en los rodamientos del motor.	3B1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Verificar la existencia de ruidos, vibraciones y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.	4A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Se debe reemplazar el filtro.	5A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Verificar el nivel y reponer si es necesario	6A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Se recomienda medir el tiempo de carga y verificar el estado de las válvulas y el anillo, en caso de que este fuera de lo normal, se debe sustituir las válvulas.	6B1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
SISTEMA: CHASIS Y RECEPCIÓN DE MAC		
Limpiar, nivelar los sensores en caso de daño reemplazar	1B1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Monitorear la temperatura, verificar la existencia de ruido y vibraciones en los rodamientos del reductor, mantener el nivel de lubricación adecuado.	1F3	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Realizar monitoreo de la temperatura y presencia de vibración en el motor reductor.	1G2	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
SISTEMA: HIDRÁULICO		
Monitorear la contrapresión de la válvula de descarga	1A3	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Accionar la bomba por 3 segundos y verificar la presión	1A5	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Verificar la presión hidráulica, en el manómetro después la bomba, y del aire en el manómetro. (Configurar especificación en función de la viscosidad)	1A7	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Verificar la presión de aceite hidráulico, en el manómetro después la bomba, y del aire en el manómetro.	1B4	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
SUB-SISTEMA: ATOMIZADOR		
Verificar el manómetro indicador de obstrucción de las mangas: Normal 70 mmca; Máximo 150 mmca	1A5	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
SUB-SISTEMA: ACOPLAMIENTO DE RODILLOS Y CILINDROS		
Remplazar el rodillo, verificar en el momento de remplazar el estado de los rodamientos de ser necesario remplazar al momento de ser intervenido	1A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Remplazar los cilindros neumáticos	1B2	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
SUB-SISTEMA: FILTRO PURIFICADOR		
Realizar monitoreo del regulador del quemador tiene que quemar al 100%	1A1	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
Abra la válvula mariposa del extractor hasta parar la generación de humo	1A2	ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 54: Procedimiento de mantenimiento cambio de sellos y rodamientos del motor

PROCEDIMIENTO
	Reemplazo de sellos y rodamientos del motor
	ICC.PRO.GEQ.xxxx.xxx Versión 0
LA VERSIÓN IMPRESA O FOTOCOPIA DE ESTE DOCUMENTO SE CONSIDERA UNA COPIA NO CONTROLADA, EXCEPTO CUANDO LLEVE LA MARCA DE AGUA DE "COPIA CONTROLADA"	
<p>1. OBJETIVO: Este procedimiento describe la metodología y lineamientos a seguir para el desarrollo de la tarea de mantenimiento que se efectúa a los equipos de ICCGSA, asegurando la calidad de las reparaciones y una adecuada operatividad del equipo, así como los lineamientos de Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente a seguir en los casos que las tareas y/o actividades ejecutadas se encuentren bajo su control.</p> <p>2. ALCANCE El alcance de este procedimiento describe las acciones que debe adoptar los responsables de la línea y en especial el mecánico que desarrollara la tarea de mantenimiento del equipo de producción que se utilicen en los emplazamientos de los proyectos de ICCGSA. La clasificación de los equipos se encuentra en el anexo N°1.</p> <p>3. RESPONSABLES <ul style="list-style-type: none"> · Gerente de Equipos: Responsable de velar por el cumplimiento del procedimiento y las políticas de mantenimiento de los equipos en los proyectos donde ICCGSA tiene participación. · Sub Gerente de Mantenimiento de Equipos: Responsable de definir las políticas de mantenimiento que se aplicaran a los equipos en los proyectos. · Responsable de Mantenimiento Senior: Responsable de hacer cumplir con las políticas de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. Responsable de Mantenimiento: Responsable de hacer el seguimiento a la programación y ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. <ul style="list-style-type: none"> · Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos: Es el responsable de gestionar los recursos necesarios, y supervisar la ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. · Programador de Equipos: Brinda soporte al Ingeniero de Equipos en sus funciones en los proyectos y es el responsable del ingreso correcto de la data al sistema ERP SAP y en lo concerniente al Mantenimiento. </p> <p>4. DESCRIPCIÓN El Operador detecta una falla o condición anormal (1A1) en el equipo durante la operación; o es detectada durante una inspección programada (mantenimiento preventivo o predictivo) El Operador informa al Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos / a través del formato "Check List Pre Uso - Equipo Producción" (ICC.FOR.GEQ.0001.008) , o en su defecto de inmediato, dependiendo de la urgencia El Jefe de Equipos o Ingeniero de Equipos asigna a un mecánico para la inspección del equipo. El mecánico evalúa el equipo y realiza las actividades descritas a continuación. </p>	

5. ACTIVIDADES

Antes de realizar un Trabajo

- .Informar al supervisor de turno del trabajo a realizar
- .Disparar al contactor de arranque del motor
- .Poner letrero No Operación en el tablero de control del compresor

Seguridad Industrial

- .Lentes de seguridad
- .Guantes
- .Casco
- .Tapones auditivos
- .Botín de punta de acero
- .Caja de herramientas

.Respirador aprobado al trabajar en áreas confinadas. Inhalar, ingerir, o entrar en contacto con materiales o gases peligrosos puede causar heridas personales o enfermedades. Son necesarios permisos y ventilación adecuados para espacios confinados.

⚠ Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.

⚠ No vista accesorios flojos o ropas rasgadas. Sáquese todas las joyas y relojes de la muñeca al trabajar en la o alrededor de la planta de asfalto

Desarrollo de la tarea

1. Desconectar los cables de la bornera del motor

2. Con la llave de 1" desajustar los tornillos y retirar el motor de su base al mismo tiempo desacoplar su eje con el eje del tornillo del compresor

3. Con el destornillador de pala retirar la tapa del ventilador, luego retirar la chaveta del ventilador y sacarlo.

4. Con la llave de 9/16" desajustar las tuercas de la tapa del motor.

5. Con la porra y el cincel retirar los sellos y luego los rodamientos.

6. Aplicar grasa Frixo a los nuevos rodamientos e instalarlos en su lugar, luego montar los sellos.

7. Volver a instalar las tapas, el ventilador y volver el motor a su posición original.

8. Conectar el motor y prenderlo, verificar el amperaje con la pinza no debe ser mayor a 5A.

6. REGISTROS

- .Formato - Check List de Pre Uso - Equipo Producción (FOR.GEQ.0001.008)
- .Orden de Mantenimiento
- .Solicitud de Pedido (SOLPED)
- .Check List de Inspección Planta de Asfalto (ICC.FOR.GEQ.0001.037)
- .Panel Fotográfico (ICC.FOR.GEQ.0001.047)

7. ANEXOS

- .Anexo N° 01: Clasificación de Equipos

Figura N° 55: Procedimiento de mantenimiento Verificar la existencia de ruidos, vibraciones y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.

PROCEDIMIENTO
	Verificar la existencia de ruidos o vibraciones en el motor reductor
	ICC.PRO.GEQ.xxxx.xxx Versión 0
LA VERSIÓN IMPRESA O FOTOCOPIA DE ESTE DOCUMENTO SE CONSIDERA UNA COPIA NO CONTROLADA, EXCEPTO CUANDO LLEVE LA MARCA DE AGUA DE "COPIA CONTROLADA"	
<p>1. OBJETIVO: Este procedimiento describe la metodología y lineamientos a seguir para el desarrollo de la tarea de mantenimiento que se efectúa a los equipos de ICCGSA, asegurando la calidad de las reparaciones y una adecuada operatividad del equipo, así como los lineamientos de Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente a seguir en los casos que las tareas y/o actividades ejecutadas se encuentren bajo su control.</p> <p>2. ALCANCE El alcance de este procedimiento describe las acciones que debe adoptar los responsables de la línea y en especial mecánico que desarrollara la tarea de mantenimiento del equipo de producción que se utilicen en los emplazamientos de los proyectos de ICCGSA. La clasificación de los equipos se encuentra en el anexo N°1.</p> <p>3. RESPONSABLES <ul style="list-style-type: none"> · Gerente de Equipos: Responsable de velar por el cumplimiento del procedimiento y las políticas de mantenimiento de los equipos en los proyectos donde ICCGSA tiene participación. · Sub Gerente de Mantenimiento de Equipos: Responsable de definir las políticas de mantenimiento que se aplicaran a los equipos en los proyectos. · Responsable de Mantenimiento Senior: Responsable de hacer cumplir con las políticas de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. Responsable de Mantenimiento: Responsable de hacer el seguimiento a la programación y ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. <ul style="list-style-type: none"> · Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos: Es el responsable de gestionar los recursos necesarios, y supervisar la ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. · Programador de Equipos: Brinda soporte al Ingeniero de Equipos en sus funciones en los proyectos y es el responsable del ingreso correcto de la data al sistema ERP SAP y en lo concerniente al Mantenimiento. </p> <p>4. DESCRIPCIÓN El Operador detecta una falla o condición anormal (1B4) en el equipo durante la operación; o es detectada durante una inspección programada (mantenimiento preventivo) El Operador informa al Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos / a través del formato "Check List Pre Uso - Equipo Producción" (ICC.FOR.GEQ.0001.008) , o en su defecto de inmediato, dependiendo de la urgencia El Jefe de Equipos o Ingeniero de Equipos asigna a un mecánico para la inspección del equipo. El mecánico evalúa el equipo y realiza las actividades descritas a continuación. </p>	

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

5. ACTIVIDADES

Antes de realizar un Trabajo

- .Informar al supervisor de turno del trabajo a realizar
- .Poner letrero No Operación en el tablero de control del compresor

Seguridad Industrial

- .Lentes de seguridad
- .Guantes
- .Casco
- .Tapones auditivos
- .Botín de punta de acero
- .Caja de herramientas

.Respirador aprobado al trabajar en áreas confinadas. Inhalar, ingerir, o entrar en contacto con materiales o gases peligrosos puede causar heridas personales o enfermedades. Son necesarios permisos y ventilación adecuados para espacios confinados.

⚠ Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.

⚠ No vista accesorios flojos o ropas rasgadas. Sáquese todas las joyas y relojes de la muñeca al trabajar en la o alrededor de la planta de asfalto

Desarrollo de la tarea

1. Los motores eléctricos son del tipo blindado y su enfriamiento depende de la libre circulación de aire a través de las aletas longitudinales (1). Por tanto, la acumulación de suciedad en estos puntos podrá provocar el sobrecalentamiento

2. Anualmente, abra el motor para una limpieza interna e inspección de los rodamientos, sustituyéndolos si es necesario.

3. Inspección de los rodamientos: asegúrelos por la pista interna y gire la pista externa. El rodamiento no deberá emitir ruido ni vibración. En caso de duda,

4. Haga la limpieza y lubricación de los rodamientos: En el caso de que estén en buen estado. Para eso, utilice solvente y pincel.

5. El secado debe ser hecho por escurrimiento natural. Nunca utilice aire comprimido o estopas para secar los rodamientos. Después de la limpieza,

6. Limpie las aletas del motor: utilice sólo aire comprimido y una escobilla, si es necesario.

6. REGISTROS

- .Formato - Check List de Pre Uso - Equipo Producción (FOR.GEQ.0001.008)
- .Orden de Mantenimiento
- .Solicitud de Pedido (SOLPED)
- .Check List de Inspección Planta de Asfalto (ICC.FOR.GEQ.0001.037)
- .Panel Fotográfico (ICC.FOR.GEQ.0001.047)

7. ANEXOS

- .Anexo N° 01: Clasificación de Equipos

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Figura N° 56: Procedimiento de mantenimiento Verificar la estabilización de red y mediciones de la holgura entre el eje del motor y los rodamientos de la polea.

PROCEDIMIENTO
	Verificar la estabilización de red y mediciones de la holgura entre el eje y los rodamientos ICC.PRO.GEQ.XXXX.XXX
	Versión 0
LA VERSIÓN IMPRESA O FOTOCOPIA DE ESTE DOCUMENTO SE CONSIDERA UNA COPIA NO CONTROLADA, EXCEPTO CUANDO LLEVE LA MARCA DE AGUA DE "COPIA CONTROLADA"	
<p>1. OBJETIVO: Este procedimiento describe la metodología y lineamientos a seguir para el desarrollo de la tarea de mantenimiento que se efectúa a los equipos de ICCGSA, asegurando la calidad de las reparaciones y una adecuada operatividad del equipo, así como los lineamientos de Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente a seguir en los casos que las tareas y/o actividades ejecutadas se encuentren bajo su control.</p> <p>2. ALCANCE El alcance de este procedimiento describe las acciones que debe adoptar los responsables de la línea y en especial mecánico que desarrollara la tarea de mantenimiento del equipo de producción que se utilicen en los emplazamientos de los proyectos de ICCGSA. La clasificación de los equipos se encuentra en el anexo N°1.</p> <p>3. RESPONSABLES · Gerente de Equipos: Responsable de velar por el cumplimiento del procedimiento y las políticas de mantenimiento de los equipos en los proyectos donde ICCGSA tiene participación. · Sub Gerente de Mantenimiento de Equipos: Responsable de definir las políticas de mantenimiento que se aplicaran a los equipos en los proyectos. · Responsable de Mantenimiento Senior: Responsable de hacer cumplir con las políticas de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. Responsable de Mantenimiento: Responsable de hacer el seguimiento a la programación y ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. · Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos: Es el responsable de gestionar los recursos necesarios, y supervisar la ejecución de los trabajos de mantenimiento de los equipos en los proyectos. · Programador de Equipos: Brinda soporte al Ingeniero de Equipos en sus funciones en los proyectos y es el responsable del ingreso correcto de la data al sistema ERP SAP y en lo concerniente al Mantenimiento.</p> <p>4. DESCRIPCIÓN El Operador detecta una falla o condición anormal (1A1) en el equipo durante la operación; o es detectada durante una inspección programada (mantenimiento preventivo) El Operador informa al Jefe de Equipos / Ingeniero de Equipos / a través del formato "Check List Pre Uso - Equipo Producción" (ICC.FOR.GEQ.0001.008) , o en su defecto de inmediato, dependiendo de la urgencia El Jefe de Equipos o Ingeniero de Equipos asigna a un mecánico para la inspección del equipo. El mecánico evalúa el equipo y realiza las actividades descritas a continuación.</p>	

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

5. ACTIVIDADES

Antes de realizar un Trabajo

- .Informar al supervisor de turno del trabajo a realizar
- .Poner letrero No Operación en el tablero de control del compresor

Seguridad Industrial

- .Lentes de seguridad
- .Guantes
- .Casco
- .Tapones auditivos
- .Botín de punta de acero
- .Caja de herramientas

.Respirador aprobado al trabajar en áreas confinadas. Inhalar, ingerir, o entrar en contacto con materiales o gases peligrosos puede causar heridas personales o enfermedades. Son necesarios permisos y ventilación adecuados para espacios confinados.

- ⚠ Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.
- ⚠ No vista accesorios flojos o ropas rasgadas. Sáquese todas las joyas y relojes de la muñeca al trabajar en la o alrededor de la planta de asfalto

Desarrollo de la tarea

1. Al accionar la botonera de mando de uno de estos motores, las contactoras D1 y D2 que alimentan el autotransformador, enlazan a través del temporizador T2 y después de 10 seg. se apagan, pasado 1 seg. el temporizador T1 apaga y el motor
- 2.El circuito de partida compensada cuenta también, con un sistema que impide la partida simultánea de los motores así como la falta de fase en la alimentación

3.Este procedimiento tiene la finalidad de no causar caídas de tensión y sobre corrientes indeseables en la red de alimentación.

4. Retirar el intercambiador de calor y el supresor de ruido

5. Los demás motores tienen funcionamiento instantáneo, al accionar la botonera de mando, el contador enciende y conecta el motor directamente a la red de alimentación. Todos los motores tienen una lámpara en el panel que señala su estado de trabajo (encendido/apagado). En el caso de una sobrecorriente en el motor, el relé térmico

6.REGISTROS

- .Formato - Check List de Pre Uso - Equipo Producción (FOR.GEQ.0001.008)
- .Orden de Mantenimiento
- .Solicitud de Pedido (SOLPED)
- .Check List de Inspección Planta de Asfalto (ICC.FOR.GEQ.0001.037)
- .Panel Fotográfico (ICC.FOR.GEQ.0001.047)

7.ANEXOS

- .Anexo N° 01: Clasificación de Equipos

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Formatos:

Luego de definir los procedimientos, se procedieron a implementar los formatos como control y alimentación directa de estos procedimientos, además de alimentar de manera sustancial a la tabla de decisiones realizada por cada sistema con la finalidad de reducir las fallas más críticas. Como se observa en la Figura N° 57, se propone tener un check de equipos para verificar sus condiciones técnicas. Se propone llevar el control diario de los equipos menores en el proyecto como se observa en la Figura N° 58, para poder tener su disponibilidad en obra y su control de reparaciones, este formato alimenta al indicador de disponibilidad mensual del equipo, su MTTR y MTBF y la confiabilidad de los equipos.

Figura N° 57: Propuesta de Check list de verificación

ICCGSA		CHECK LIST- EQUIPOS PESADOS VERIFICACIÓN DE CONDICIONES TECNICAS					Código: F-101 Versión: 00	
MOTIVO DEL CHECK LIST	☐ ☐		☐ ☐					
DATOS DE LA MAQUINA			RESPONSABLE DEL CHEQUEO				Leyenda	
DESCRIPCION			NOMBRE				OK	BUENO
MODELO			FECHA				D	DEFECTUOSO
N° DE SERIE			AREA				RE	REGULAR
HOROMETRO			OBRA				F	FALTA
Cod. EAM							NA	NO APLICA
MOTOR			CONDICIÓN			OBSERVACIONES		
Encendido del motor			OK	D	RE	F	NA	
Funcionamiento de motor			OK	D	RE	F	NA	
Guardas y cubiertas protectoras			OK	D	RE	F	NA	
Respiradero de cárter			OK	D	RE	F	NA	
Tapa de llenado de aceite de motor			OK	D	RE	F	NA	
Limpieza del compartimiento del motor			OK	D	RE	F	NA	
Filtro de aceite de motor			OK	D	RE	F	NA	
Estado de mangueras y cañerías			OK	D	RE	F	NA	
Fugas de aceite de motor			OK	D	RE	F	NA	
Varilla de medición de nivel de aceite			OK	D	RE	F	NA	
Nivel de aceite			OK	D	RE	F	NA	
ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS			CONDICIÓN			OBSERVACIONES		
Llave de corte de energía			OK	D	RE	F	NA	
Llave de contacto			OK	D	RE	F	NA	
Extintor			OK	D	RE	F	NA	
Botiquín			OK	D	RE	F	NA	
Conos			OK	D	RE	F	NA	
OBSERVACIONES ADICIONALES (Condiciones de trabajo)								
FIRMA RESPONSABLE DE INSPECCIÓN								
Firma			Cargo			V°B° Jefe de Taller		

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

[illegible]

Mes: _____ Año: _____ OBRA _____																					
CODIGO SISTEMA	DESCRIPCION	Cant.	. DIAS															TOTAL	CENTRO DE COSTOS		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
																	0				
TOTAL																	0				

ALMACENISTA

TRAZABILIDAD

EQUIPOS

194

Tabla N° 70: Plan de mantenimiento

[illegible]

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Como se observa en la Tabla N° 71, con este formato se propone llevar el control de los mantenimientos preventivos importantes para hallar la disponibilidad de la flota de equipos su MTTR y MTBF y la confiabilidad de los equipos.

Tabla N° 71: Hoja de vida de equipo

[illegible]

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Con este procedimiento llevaremos el control de los correctivos, necesarios para alimentar el indicador de disponibilidad mensual de todos los equipos su MTTR y MTBF y la confiabilidad de los equipos.

Figura N° 60: Informe de equipo diario

INFORME DIARIO DE EQUIPOS									
									Nro. _____
OBRA		EQUIPO PROPIO		PROPIETARIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	CÓDIGO INTERNO	PLACA		
		EQUIPO ALQUILADO				CORRECCIONES			
OPERADOR _____				HORAS/ Km INICIAL _____		HORAS/ Km FINAL: _____			
INSPECCIÓN Y EJECUCIÓN DE ACTIVIDAD PREOPERACIONAL DEL EQUIPO (Adjunto al Manual de funciones de inspección a realizar: diaria y semanalmente) El operador debe ejecutar la hora de descanso al medio día									DIARIO: _____
HORA		ACTIVIDADES DEL DIA					HORAS MAQUINA	CÓDIGO DE ACTIVIDAD	
DC	A								
FALLAS ENCONTRADAS POR EL OPERADOR (Sólo par aequipo propio)									
MOTOR _____		TREN DE POTENCIA _____							
SISTEMA HIDRÁULICO _____		OTROS _____							
DESCRIPCION DE LA FALLA: _____									

TIEMPO MAQUINA	TRABAJANDO	REPARACIÓN NO	REPARACIÓN	TRANSPORTE	DISPONIBLE	CLIMA	SSMA		
COMBUSTIBLE									
KILÓMETRO	CANTIDAD								
ESTE REPORTE SE DEBE LLENAR EN CADA UNA DE LAS CASILLAS ESTABLECIDAS						ACEITE DE MOTOR: _____ GL.			
La negociación a que este documento se refiere se entenderá completa con la presentación para el cobro de factura debidamente aceptada y la constancia de recibo de la mercancía o servicios especificados						ACEITE HIDRÁULICO _____ GL.			
Nota: El Gerente vial o Ingeniero Residente distribuyen este documento así:						FIRMA OPERADOR _____			
EQUIPO ALQUILADO / ORIGINAL : PROVEEDOR						FIRMA ING. RESIDENTE _____			
1ra. copia Auxiliar administrativo						FIRMA ING. DE CAMPO _____			
2 da. copia Trazabilidad de obra						FIRMA ING. EQUIPOS (EQUIPO PROPIO) _____			
EQUIPO PROPIO / ORIGINAL: EQUIPOS									
1ra. Copia No Aplica para equipos propios.									
2da. Copia Trazabilidad obra									

Este formato proporciona información clave para poder tener controlado mis indicadores de disponibilidad, MTTR, MTBF y confiabilidad.

Figura N° 61: Reporte técnico de campo

REPORTE TECNICO DE CAMPO												
I. DATOS DEL EQUIPO Y DE LA ACTIVIDAD												
CODIGO _____ MAQUINA _____ *MOTOR _____ *CHASIS _____ MARCA _____ OBRA _____ LUGAR _____					TIPO DE MANT. _____ TIPO DE FALLA _____ CRITICIDAD _____ HOROMETRO _____ *CAPAZ A CARGO _____ TIPO DE SERVICIO _____							
II. FECHAS Y TIEMPOS:												
FECHA DE EMISION _____					FECHA MAX. ENTREGA _____							
FECHA DE INICIO _____					*DURACION ESTIMADA _____							
FECHA DE TERMINO _____					DURACION REAL / HORAS TRABAJADAS _____							
III. DESCRIPCION DEL TRABAJO:					REPUESTOS A UTILIZAR							
OPERACION				DURACION		N°	CANTIDAD	REPUESTOS (CÓDIGO) ORIGINAL	DURACION			
				HRS	MINUTOS				HRS	MINUTOS		
1	CAMBO DEL SISTEM HIDRAULICO,					1						
2						2						
3						3						
4						4						
5						5						
6						6						
7						7						
8						8						
IV. SUMINISTROS / ACEITES:												
DURACION			DESCRIPCION (TIPO DE ACEITE Y DESIGNACION)				SISTEMA REFERENTE		CANTIDAD REAL SUMINISTRADA		MUESTREO DE ACEITE	
N°	HRS	MINUTOS										
1												
2												
3												
4												
5												
6												
VI. ACTIVIDADES FINALES												
1 ENGRASE GENERAL						REVISION DE NEUMATICOS						
2 REVISION DE ELEMENTOS DE DESGASTE						LIMPIEZA DE FILTRO DE AIRE						
VII. PERSONAL REQUERIDO:												
NOMBRE DEL TECNICO						**COSTOS DE TERCEROS						
VII. OBSERVACIONES												
NOTA												
* OPCIONAL **INFORMACION LLENADA POR JEFE EQUIPOS												
F. DEL TECNICO						F. DEL OPERADOR						

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Como se observa en la Figura N° 61, se propone un formato de control de todas las asistencias mecánicas de cada equipo que suceda en el año, así como alimentar la hoja de vida por cada equipo.

Instructivos

Se desarrolló dos instructivos:

- Instructivo de Mantenimiento
- Instructivo de mantenimiento de partes de máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM CAT AP500E

Figura N° 62: Manual de Instrucciones de Mantenimiento

MANUAL DE INSTRUCCIONES

ITJ003733

G 11

Índice

1	Normas de seguridad.....	5
1.1	Iconos de seguridad.....	5
1.2	Medidas generales de seguridad.....	5
1.3	Normas de seguridad durante la instalación.....	6
1.4	Normas de seguridad durante el funcionamiento.....	7
1.5	Normas de seguridad durante el mantenimiento o las reparaciones.....	9
2	Descripción general.....	11
2.1	Introducción.....	11
2.2	Flujo de aire.....	14
2.3	Sistema de aceite.....	15
2.4	Sistema de refrigeración.....	16
2.5	Sistema de regulación.....	16
2.6	Panel de control.....	17
2.7	Sistema eléctrico.....	18
2.8	Protección del compresor.....	20
3	Controlador.....	21
3.1	Controlador.....	21
3.2	Panel de control.....	22
3.3	Iconos usados en el display.....	23
3.4	Pantalla principal.....	24
3.5	Función principal.....	25
3.6	Aviso de parada por alarma.....	27
3.7	Parada por alarma.....	28
3.8	Aviso de servicio.....	30
3.9	Desplazamiento por todas las pantallas.....	32
3.10	Invocación de las horas de funcionamiento.....	34

3.11	Invocación de los arranques del motor.....	34
3.12	Invocación de las horas del módulo.....	34
3.13	Invocación de las horas en carga.....	35
3.14	Invocación de la válvula de solenoide de carga.....	35
3.15	Invocación/rearme del temporizador de servicio.....	36
3.16	Invocación/modificación de la selección de banda de presión.....	36
3.17	Invocación/modificación de los ajustes de banda de presión.....	37
3.18	Invocación/modificación de la unidad de temperatura.....	37
3.19	Invocación/modificación de la unidad de presión.....	38
3.20	Invocación/modificación del tiempo de retroluminación.....	38
3.21	Activación del rearranque automático después de un fallo del suministro eléctrico.....	38
3.22	Bloqueo del teclado.....	39
4	Instalación.....	40
4.1	Propuesta de instalación.....	40
4.2	Planos de dimensiones.....	42
4.3	Conexiones eléctricas.....	42
4.4	Pictogramas.....	43
5	Instrucciones de funcionamiento.....	44
5.1	Puesta en marcha inicial.....	44
5.2	Arranque.....	47
5.3	Parada.....	49
5.4	Puesta fuera de servicio.....	51
6	Mantenimiento.....	53
6.1	Programa de mantenimiento preventivo.....	53
6.2	Motor de accionamiento.....	55
6.3	Especificaciones del aceite.....	55
6.4	Cambio de aceite, filtro y separador.....	55

Figura N° 63: Manual de máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM CAT AP500E

ZT160-200-250-275

Parts list

Control module	Cubicle
Stuurmodule	Kast
Kontrollmodul	Skáp
Stuurmodul	Schaltzschrank
Module de commande	Armoire
Módulo de mando	Armario
Módulo di controllo	Armadio elettrico
Kontrollmodul	Elskab
Módulo de comando	Quadro
Kontrollmodul	Skap
Objektliste	Kotel
- Elektronik	21
- Elektronik - Continuous Capacity Control - 1) ..	13
- Electro-pneumatic	14
- Electro-pneumatic - Continuous Capacity Control - 1)	15
Start cubicle - star/delta	Bodywork
Startkast - ster/driehoek	Karosserie
Startskáp - stjörn/triangel	Karosseri
Anlæbschrank - Stern/Dreieck	Karosserie
Armoire de démarrage - étoile/triangle	Capotage
Cubículo de arranque - estrella/triángulo	Carmceria
Armadio apparecch. di avviamento - stella/triangolo	Cappottatura
Starterskab - stjerner/trekant	Karoseri
Cubículo-arranque estrella/triángulo	Carmceria
Starterskap - stjerner-trekant	Kabinett
Klynnisinkotelo - Y/D	Kotel
- Elektronik -	22
Control Voltage 110V or 220V/50Hz	16
- Electro-pneumatic - Control Voltage 220V/50Hz ..	17
- Elektronik - Control Voltage 115V/60Hz	18
Start cubicle, empty (with regulator)	Service kits
Startkast, leeg (met regelaar)	Service kits
Startskáp, tóm (med regúlator)	Service Kits
Anlæbschrank, leer (mit Regler)	Service kits
Armoire de démarrage, vide (avec régulateur)	Service kits
Cubículo de arranque, vacío (con regulador)	Kit per la manutenzione
Armadio apparecch. di avviamento, vuoto (con regolatore)	Service kits
Starterskab, tóm (m. regulator)	Conjuntos de reparação
Cubículo-Arranque, vacío (con regulador)	Serviceset
Starterskap - tóm (med regulator)	Huoltoarvikesarjat
Klynnisinkotelo - kalustamon (säätiminen)	23
- Elektronik - Control Voltage 220V/50Hz	19
- Elektronik -	20
Control Voltage 115V/60Hz - CSAUL	1) Continuous Capacity Control / Onderbroken debietregeling / Kontinuerlig kapacitetsreglering / Stetige Liefmengenregelung / Contrôle continu du débit / Control continuo de la capacidad / Controllo continuo della portata / Kontinuerlig kapacitetsreglering / Controllo continuo de capacidade / Kontinuerlig kapacitetsreglering / Jatkova kapasiteetin säätö

"Copyright 1998, Atlas Copco Airpower n.v., Antwerp, Belgium.

Any unauthorized use or copying of the contents or any part of this book is prohibited.
This applies in particular to trademarks, model denominations, part numbers and drawings."

2930 (2376)

3

Cronograma de ejecución de RCM

Para el desarrollo de la implementación del RCM del presente proyecto, se programa como inicio del proyecto el 1ero de enero finaliza en diciembre de 2018.

Tabla N° 72: Cronograma de ejecución de proyecto RCM

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Presupuesto para la ejecución del proyecto

Para la implementación del RCM, se requiere de una inversión inicial el cual se detalla a continuación.

La capacitación se va a realizar para un periodo de 5 meses, con la participación del personal que se muestra en la Tabla N° 73

Tabla N° 73: Participantes capacitación del proyecto

Personal	Sueldos	Costo real S/.	Costo real x Hora
Jefe de Mantenimiento	15000	21345	89
Supervisores de Mtto	6000	8538	36
Técnico Mecánico	2100	2988.3	12
Técnico Electricista	2100	2988.3	12
Operario de Producción	1800	2561.4	11

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

La capacitación tendrá una duración de 64 horas, el cual será dividido en 4 días a la semana por 4 hr/día, como se va a realizar luego de la jornada de trabajo hay un costo adicional por Costo por horas extras como se muestra en la Tabla N° 74.

Tabla N° 74: Costo por horas extras mensual

Personal	Horas Extras Mensuales	Costo x Horas extras 50%+
Jefe de Mantenimiento	64	S/. 8,538.00
Supervisores de Mtto	64	S/. 3,415.20
Técnico Mecánico	64	S/. 1,195.32
Técnico Electricista	64	S/. 1,195.32
Operario de Producción	64	S/. 1,024.56
Total		S/. 15,368.40

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 75 se muestra el presupuesto para la inversión de gastos en personal del proyecto, el mismo que necesitará personal altamente capacitado para llevar a cabo el proyecto de implementación RCM en la empresa.

Tabla N° 75: Presupuesto de inversión del personal

N°	Concepto / Rubro	Cantidad	Horas Extras Mensuales	Valor Unitario	Valor total mensual	Valor total por 5 meses
1	Personal					
1.1	Jefe de Mantenimiento	1	64	S/. 88.94	S/. 8,538.00	S/. 42,690.00
1.3	Supervisores de Mantto	2	64	S/. 35.58	S/. 3,415.20	S/. 17,076.00
1.4	Técnico Mecánico	2	64	S/. 12.45	S/. 1,195.32	S/. 5,976.60
1.5	Técnico Electricista	2	64	S/. 12.45	S/. 1,195.32	S/. 5,976.60
1.6	Operario de Producción	1	64	S/. 10.67	S/. 1,024.56	S/. 5,122.80
Total						S/. 76,842.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 76, se muestra el presupuesto para la inversión de gastos de equipos requeridos por el proyecto.

Tabla N° 76: Presupuesto de inversión en equipos

2	Equipo Multimedia					
2.1	Proyector	1		200	200	1000
2.2	Laptop	1		500	500	500
Total						1500

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 77 se muestra el presupuesto para la inversión de gastos de insumos requeridos por el proyecto.

Tabla N° 77: Presupuesto de inversión en insumos

3	Insumos					
3.1	Tablas para tomar notas	8		S/. 8.00	S/. 64.00	S/. 64.00
3.2	Lapiceros	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00
3.3	Lápiz	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00
3.4	Papel bond A4	200		S/. 0.10	S/. 20.00	S/. 100.00
3.5	Impresión	200		S/. 0.25	S/. 50.00	S/. 250.00
3.6	CDs con material de apoyo	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00
Total						S/. 462.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 78 se muestra el presupuesto para la inversión de gastos varios considerados para imprevistos que puedan aparecer en el desarrollo del proyecto.

Tabla N° 78: Presupuesto de inversión varios

5	Otros				
5.1	Soporte RCM	1		S/. 16,000.00	S/. 80,000.00
5.3	Compra de pistola láser de temperatura	1		S/. 7,000.00	S/. 7,000.00
5.4	Compra de equipo para análisis de vibraciones	1		S/. 15,000.00	S/. 15,000.00
Total					S/. 102,000.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 79 se muestra el presupuesto para la implementación del RCM en la empresa bajo estudio.

Tabla N° 79: Presupuesto para la implementación del control del proyecto

PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO RCM							
N°	Concepto / Rubro	Cantidad	Horas Extras Mensuales	Valor Unitario	Valor total mensual	Valor total por 5 meses	Valor anual
1	Personal						
1.1	Jefe de Mantenimiento	1	64	S/. 88.94	S/. 8,538.00	S/. 42,690.00	
1.3	Supervisores de Manto	2	64	S/. 35.58	S/. 3,415.20	S/. 17,076.00	
1.4	Técnico Mecánico	2	64	S/. 12.45	S/. 1,195.32	S/. 5,976.60	
1.5	Técnico Electricista	2	64	S/. 12.45	S/. 1,195.32	S/. 5,976.60	
1.6	Operario de Producción	1	64	S/. 10.67	S/. 1,024.56	S/. 5,122.80	
Total						S/. 76,842.00	S/. 76,842.00
2	Equipo Multimedia						
2.1	Proyector	1		S/.200.00	S/. 200.00	S/. 1,000.00	
2.2	Laptop	1		S/.500.00	S/. 500.00	S/. 500.00	
Total						S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
3	Insumos						
3.1	Tablas para tomar notas	8		S/. 8.00	S/. 64.00	S/. 64.00	
3.2	Lapiceros	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00	
3.3	Lapiz	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00	
3.4	Papel bond A4	200		S/. 0.10	S/. 20.00	S/. 100.00	
3.5	Impresión	200		S/. 0.25	S/. 50.00	S/. 250.00	
3.6	CDs con material de apoyo	8		S/. 2.00	S/. 16.00	S/. 16.00	
Total						S/. 462.00	S/. 462.00
4	Manutención						
4.1	Refrigerio	8		S/. 15.00	S/. 120.00	S/. 600.00	
4.2	Agua	8		S/. 5.00	S/. 40.00	S/. 200.00	
4.3	Gaseosa	8		S/. 5.00	S/. 40.00	S/. 200.00	
Total						S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
5	Otros						
5.1	Soporte RCM	1			S/.16,000.00	S/. 80,000.00	S/.192,000.00
5.3	Compra de pistola láser de temperatura	1			S/. 7,000.00	S/. 7,000.00	S/. 7,000.00
5.4	Compra de equipo para análisis vibracional	1			S/.15,000.00	S/. 15,000.00	S/. 15,000.00
Total						S/. 102,000.00	S/.214,000.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la Tabla N° 80 se muestra el resumen del total de presupuesto necesario para el proyecto, el cual asciende a un total de 214,400.00 soles.

Tabla N° 80: Resumen de presupuesto del proyecto

RESUMEN DE PRESUPUESTO							
N°	Concepto / Rubro	Cantidad	Tiempo	Valor Unitario	Valor total mensual	Valor total por 5 meses	Valor anual
1	Presupuesto para la implementación del control del proyecto	1	12 meses			S/. 181,804.00	S /293,804.00
Total						S/. 181,805.00	S/. 293,804.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Análisis de Beneficio RCM

A continuación, podemos observar un cuadro donde se muestra las utilidades que no son percibidas y las que se tendría implementando el RCM.

Se va a realizar una proyección de los ingresos por 5 años, donde se considera lo siguiente:

Se tiene una proyección en utilidad no percibida por 5 años, basándose en los datos de la tabla N°81.

Tabla N° 81: Precios del Asfalto

DATOS	COSTO S/
Precio de venta m3 de asfalto	S/ 59.00
Precio de costo m3 de asfalto	S/ 35.00
Penalidad por día de retraso	S/ 8,154.00
Costo por parada de mantto (hr)	S/ 3,000.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Tabla N° 82: Análisis Beneficio RCM

Descripción	REAL			PROYECTADO				
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos	S/ 6,986,599.89	S/ 7,129,183.56	S/ 7,323,000.00	S/ 7,482,661.26	S/ 7,665,092.64	S/ 7,832,343.95	S/ 8,009,715.30	S/ 8,180,339.96
Costo de Producción	S/ 4,144,593.15	S/ 4,229,176.69	S/ 4,315,486.41	S/ 4,438,866.85	S/ 4,547,088.86	S/ 4,646,305.73	S/ 4,751,526.03	S/ 4,852,744.04
Producción de asfalto m3 actual	118417	120834	123300	126825	129917	132752	135758	138650
Asfalto m3 al 95%	130305	130305	130305	130305	130305	130305	130305	130305
Utilidades	S/ 2,842,006.73	S/ 2,900,006.87	S/ 3,007,513.59	S/ 3,043,794.41	S/ 3,118,003.79	S/ 3,186,038.22	S/ 3,258,189.28	S/ 3,327,595.91
horas de retraso por Mantto	19	21	20	21	21	21	21	22
penalidad por retraso en soles	S/ 154,926.00	S/ 171,234.00	S/ 163,080.00	S/ 171,234.00	S/ 168,516.00	S/ 173,046.00	S/ 172,744.00	S/ 175,663.33
horas de retraso por Mantto (mejorada)				4	4	4	4	4
penalidad por retraso en soles (mejorada)				S/ 34,246.80	S/ 33,703.20	S/ 34,609.20	S/ 34,548.80	S/ 35,132.67
Hrs Mantto actual	318.0	322.0	330.0	335.33	342.44	348.37	355.09	361.28
Costo x hrs Mantto	S/ 954,000.00	S/ 966,000.00	S/ 990,000.00	S/ 1,006,000.00	S/ 1,027,333.33	S/ 1,045,111.11	S/ 1,065,259.26	S/ 1,083,827.16
Hrs Mantto mejorado				328.50	328.50	328.50	328.50	328.50
Costo hrs Mantto mejora				S/ 985,500.00	S/ 985,500.00	S/ 985,500.00	S/ 985,500.00	S/ 985,500.00
Utilidad sin mejora	S/ 1,733,080.73	S/ 1,762,772.87	S/ 1,854,433.59	S/ 1,866,560.41	S/ 1,922,154.45	S/ 1,967,881.10	S/ 2,020,186.02	S/ 2,068,105.42
Utilidad con mejora				S/ 2,024,047.61	S/ 2,098,800.59	S/ 2,165,929.02	S/ 2,238,140.48	S/ 2,306,963.25
Utilidades no percibidas				S/ 157,487.20	S/ 176,646.13	S/ 198,047.91	S/ 217,954.46	S/ 238,857.83

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

En la tabla N° 82 se observa la proyección de 5 años donde podemos indicar que se necesita un aumento en la producción de asfalto. además, implementando el RCM se tiene una reducción en las penalizaciones por retraso de obra, también se tiene que el costo de mantenimiento será disminuido en 30% con la implementación del RCM.

Figura N° 64: Utilidad con RCM Vs Utilidad sin Mejora

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

A continuación, se presenta los 3 flujos de cajas del proyecto de acuerdo con los ahorros obtenidos con la implementación de la mejora en la máquina Planta de Asfalto Terex, probados a partir de la simulación y los gastos invertidos para los escenarios optimista, pesimista y conservador.

Tabla N° 83: Escenario optimista

ESCENARIO OPTIMISTA						
	Impuesto (T)	30%				
	Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%				
	Coste Medio Ponderado de Capital (WACC)	10%	Tiempo	5 años		
Año	0	1	2	3	4	5
Utilidad no percibida		157,487.20	176,646.13	198,047.91	217,954.46	238,857.83
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
(-) Costos variables		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal	76842.00	-	-	-	-	-
Equipo	1500	-	-	-	-	-
Insumos	462	-	-	-	-	-
Manutención	1000	-	-	-	-	-
Otros (especialista)	214000	-	-	-	-	-
(-) Costos fijos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) UAI = EBIT		157,487.20	176,646.13	198,047.91	217,954.46	238,857.83
(-) Impuestos (30%)		-47,246.16	-52,993.84	-59,414.37	-65,386.34	-71,657.35
(+) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo Económico de Operación (FEO)		110,241.04	123,652.29	138,633.54	152,568.12	167,200.48
Gastos netos de capital	-293,804.00					
Cambios en el capital de trabajo neto						
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-293,804.00	110,241.04	123,652.29	138,633.54	152,568.12	167,200.48
Préstamo						
(-) Amortización		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Interés		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(+) Escudo fiscal		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo de Caja Neto del Inversionista (FCNI)	-293,804.00	110,241.04	123,652.29	138,633.54	152,568.12	167,200.48
VALOR PRESENTE NETO (VAN)	220,788.96					
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	34%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%					

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Tabla N° 84: Escenario conservador

ESCENARIO CONSERVADOR						
Impuesto (T)	30%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%					
Coste Medio Ponderado de Capital (WACC)	10%					
			Tiempo	5 años		
Año	0	1	2	3	4	5
Utilidad no percibida		149,612.84	167,813.83	188,145.52	207,056.74	226,914.94
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
(-) Costos variables		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal		-	-	-	-	-
Equipo		-	-	-	-	-
Insumos		-	-	-	-	-
Manutención		-	-	-	-	-
Otros (especialista)		-	-	-	-	-
(-) Costos fijos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) UAH = EBIT		149,612.84	167,813.83	188,145.52	207,056.74	226,914.94
(-) Impuestos (30%)		-44,883.85	-50,344.15	-56,443.65	-62,117.02	-68,074.48
(+) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo Económico de Operación (FEO)		104,728.99	117,469.68	131,701.86	144,939.72	158,840.46
Gastos netos de capital	-293,804.00					
Cambios en el capital de trabajo neto						
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-293,804.00	104,728.99	117,469.68	131,701.86	144,939.72	158,840.46
Préstamo						
(-) Amortización		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Interés		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(+) Escudo fiscal		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo de Caja Neto del Inversionista (FCNI)	-293,804.00	104,728.99	117,469.68	131,701.86	144,939.72	158,840.46
VALOR PRESENTE NETO (VAN)	195,059.31					
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	32%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%					

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Tabla N° 85: Escenario pesimista

ESCENARIO PESIMISTA						
Impuesto (T)	30%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%					
Coste Medio Ponderado de Capital (WACC)	10%					
			Tiempo	5 años		
Año	0	1	2	3	4	5
Utilidad no percibida		141,738.48	158,981.52	178,243.12	196,159.01	214,972.04
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
(-) Costos variables		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Personal		-	-	-	-	-
Equipo		-	-	-	-	-
Insumos		-	-	-	-	-
Manutención		-	-	-	-	-
Otros (especialista)		-	-	-	-	-
(-) Costos fijos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) UAI = EBIT		141,738.48	158,981.52	178,243.12	196,159.01	214,972.04
(-) Impuestos (30%)		-42,521.54	-47,694.46	-53,472.94	-58,847.70	-64,491.61
(+) Depreciación		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo Económico de Operación (FEO)		99,216.94	111,287.06	124,770.18	137,311.31	150,480.43
Gastos netos de capital	-293,804.00					
Cambios en el capital de trabajo neto						
Flujo de Caja de Libre Disponibilidad (FCLD)	-293,804.00	99,216.94	111,287.06	124,770.18	137,311.31	150,480.43
Préstamo						
(-) Amortización		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(-) Interés		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(+) Escudo fiscal		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo de Caja Neto del Inversionista (FCNI)	-293,804.00	99,216.94	111,287.06	124,770.18	137,311.31	150,480.43
VALOR PRESENTE NETO (VAN)	169,329.66					
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	29%					
Costo de Oportunidad del Capital (COK)	10%					

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Para validar la información utilizaremos el simulador @RISK.

Como se observa en la Figura N° 65, para un intervalo de confianza del 90% el Valor Actual Neto estará entre 33,005 y 192,157 soles. Asimismo, se puede determinar que el VAN mínimo es 12'831,26 soles para la presente evaluación.

Como se observa en la Figura N° 66, para un intervalo de confianza del 90% la Tasa Interna de Retorno estará entre 14.11% y 33.27%. Asimismo, se puede determinar que el TIR mínimo es de 10,33% en la presente evaluación.

Figura N° 66: Análisis @ RISK - TIR del proyecto

Como se muestra en la Tabla N° 86, el resumen de la evaluación financiera considerada en los tres escenarios. Además, se considera un porcentaje de interés como costo de oportunidad de inversión (COK) de 10 %, este es el nivel de rentabilidad mínima que se le pide al proyecto para decidir si se lleva a cabo o no.

Tabla N° 86: Evaluación de escenarios resumen

EVALUACIÓN DE ESCENARIOS RESUMEN			
EVALUACIÓN ECONÓMICA	OPTIMISTA	CONSERVADOR	PESIMISTA
VAN	S/. 220,788.96	S/. 195,059.31	S/. 169,329.66
COK	10%	10%	10%
TIR	34%	32%	29%
INVERSIÓN	S/. 293,804.00	S/. 293,804.00	S/. 293,804.00

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

De acuerdo con los resultados, se concluye que el proyecto es rentable para la empresa, debido a los ahorros que genera el proyecto de mejora del equipo Planta de Asfalto Terex, considerando el TIR mayor al 10 % del costo de oportunidad requerido en los tres escenarios.

CAPITULO IV – VALIDACIÓN DEL PROYECTO

Simulación del proceso

Validación de la propuesta

Dentro del proceso de mantenimiento se deben estandarizar métodos (es decir, se deben manejar datos históricos que faciliten y minimicen los tiempos en este proceso, la implementación del RCM permitirá capacitar a los técnicos y operarios con el fin de que respeten dichos parámetros estandarizados.

Por ello pensamos simular este proceso de implementación de RCM a través del programa ARENA, este es un modelo de simulación por computadora que nos ofrece un mejor entendimiento y las cualidades del sistema, ya que además de representar el sistema efectúa automáticamente diferentes análisis del comportamiento. Creemos que es el más adecuado pues en él se analizarán los tiempos en cada uno de los subsistemas que pertenecen a la máquina Planta de Asfalto Terex, que es la que presenta mayor incidencia de subsistemas defectuosos y genera sobrecostos de reprocesos.

Propuesta de Simulación

Para realizar la validación de la propuesta de implementación de la metodología RCM se va a considerar los resultados que indicaron el NPR, originados en la máquina Planta de asfalto Terex. Para ello, se va a mostrar las 13 variables a utilizar como la data a procesar con característica “Inaceptable” y “Reducción Deseable.

Proceso Actual

Relación de variables identificadas: La relación de variables de **X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8** que se detallan son las fallas que presentan la máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM, y el rango de tiempo entre fallas. Las variables **X9, X10, X11, X12, X13**, detallan el número de horas que demora la corrección de la falla.

X1= Excesiva temperatura de la bomba del sistema de circulación. Se produce cada 4500 y 5000 horas.

X2= Falta de presión constante en irrigador de asfalto. Se produce cada 80 a 90 horas.

X3= Falla en la válvula de compresión. Se produce cada 450 a 500 horas.

X4= Tamaño de la bombilla en irrigador de asfalto no es correcto. Se produce cada 300 a 400 horas.

X5= Averías en el sistema de control. Se produce cada 200 a 250 horas.

X6= Averías en el sistema de válvulas del flujo de material. Se produce entre 3500 y 3800 horas.

X7= Bitumeter no mide correctamente de recorrido en distancia (pies). Se produce entre 230 y 250 horas.

X8= Fallas en el tanque aislado. Se produce entre 55 y 70 horas.

X9= Fallas de funcionamiento de la unidad de remolque. La corrección dura entre 48 y 72 horas.

X10= Baja presión motores de traslación y giro. La corrección dura entre 1 y 2 horas.

X11= Desgaste de cadena de giro de remolque. La corrección dura entre 3 y 4 horas.

X12= Rodillos de presión obstruido. La corrección dura entre 3 y 4 horas.

X13= Válvulas hidráulicas o neumáticas desgastadas. La corrección dura entre 0.5 y 1 hora.

A continuación, se detallan los datos de tiempo de las variables mencionadas.

Tabla N° 87: Muestra de datos para cada variable

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
4646.7	88.90	454.6	381.8	247.4	3622.7	232.4	68.31	63.63	1.33	3.83	3.14	0.59
4573.9	89.46	473.9	308.1	245.1	3704.0	237.6	56.35	60.37	1.57	3.72	3.77	0.76
4578.3	89.79	494.1	378.2	242.9	3575.5	239.4	63.46	68.77	1.62	3.92	3.04	0.54
4997.4	88.90	487.9	306.0	244.0	3502.5	237.3	69.36	50.82	2.11	3.23	3.12	0.59
4539.1	83.48	491.4	306.4	241.1	3527.6	234.9	68.81	55.64	1.68	3.26	3.22	0.61
4713.6	80.47	485.7	375.2	213.4	3654.9	245.7	57.32	58.12	2.21	3.55	3.38	0.64
4759.4	87.79	461.8	396.4	249.1	3712.9	246.6	69.35	48.27	1.38	2.96	3.39	0.89
4855.3	81.87	458.5	332.8	221.0	3648.3	237.3	62.77	66.14	1.67	3.95	3.81	0.76
4655.4	89.24	464.4	324.0	222.1	3597.7	235.2	68.73	65.75	1.77	3.37	3.23	0.77
4545.6	86.51	473.9	364.8	201.8	3787.1	241.9	61.39	49.43	2.10	3.97	3.62	0.92
4942.9	89.97	477.8	353.7	209.6	3753.3	240.6	58.05	61.89	2.34	3.07	3.19	0.82
4636.1	85.92	485.1	329.5	241.9	3626.4	249.9	64.24	51.44	2.81	3.77	3.5	0.84
4622.5	82.77	464.8	327.6	233.4	3528.9	235.0	55.61	59.05	2.19	2.91	3.46	0.52
4533.6	86.32	471.8	344.1	224.0	3787.4	244.4	61.77	57.27	2.07	2.68	3.5	0.51
4684.2	80.70	464.7	365.5	242.1	3572.2	235.3	59.69	63.92	2.13	2.66	3.87	0.52
4706.4	88.58	493.2	370.6	210.3	3644.4	247.9	68.26	59.49	1.13	2.93	3.61	0.84
4597.7	88.32	455.3	345.7	249.6	3587.1	234.2	68.03	62.22	1.78	3.06	3.64	0.68
4636.8	89.76	469.5	373.3	249.9	3670.1	246.7	67.53	53.17	1.53	2.98	3.92	0.79
4513.6	85.85	460.0	309.8	219.8	3739.8	245.0	66.71	55.72	2.53	3.22	3.09	0.73
4840.2	89.66	481.9	303.3	244.2	3539.8	231.3	63.54	54.07	1.63	3.16	3.37	0.67
4618.0	82.00	473.0	336.6	238.4	3588.5	249.6	56.56	57.61	2.06	3.4	3.7	0.88
4971.8	88.36	492.6	320.9	220.7	3571.0	249.8	57.55	51.23	1.64	2.84	3.84	0.82
4896.0	81.69	498.1	326.4	237.9	3785.8	239.4	69.31	70.41	2.61	3.11	3.05	0.97
4561.1	82.88	474.1	305.7	220.3	3620.4	230.0	69.26	70.14	1.42	2.67	3.19	0.84
4642.9	89.62	491.6	371.95	215.9	3767.61	205.9	64.75	50.51	2.15	3.61	3.93	0.43
4776.9	82.55	453.3	392.14	233.3	3744.03	234.7	60.64	59.77	2.85	2.99	3.21	0.52

4733.9	83.94	462.2	399.00	214.3	3647.21	234.1	68.00	49.47	2.06	3.82	3.86	0.57
4931.5	88.08	459.4	397.59	206.5	3679.62	236.5	57.25	57.80	1.39	3.82	3.37	0.94
4602.6	85.74	460.7	320.90	215.8	3601.78	247.4	68.36	51.92	2.93	3.5	3.51	0.60
4780.6	89.61	466.5	398.17	222.3	3539.49	233.8	65.99	51.92	1.74	2.52	3.03	0.69
4509.6	89.40	451.2	394.79	220.7	3516.52	233.6	67.84	71.97	1.95	2.53	3.56	0.64
4711.3	88.70	461.0	373.18	229.2	3542.95	234.1	68.11	70.15	2.25	3.33	3.29	0.83
4513.8	82.54	477.5	319.10	222.6	3766.77	234.6	64.50	55.92	2.52	3.31	3.67	0.67
4544.4	80.91	492.4	333.27	224.0	3679.56	238.6	57.88	60.44	1.88	3.17	3.27	0.57
4553.0	89.58	476.6	307.24	233.4	3687.83	241.8	63.41	67.57	1.68	3.59	3.85	0.97
4746.0	81.25	487.6	385.18	221.2	3521.43	248.5	61.85	54.23	1.64	2.88	3.64	0.72
4686.9	83.41	496.2	331.32	204.7	3690.96	233.6	63.22	66.46	1.92	3.4	3.64	0.86
4806.3	86.60	494.9	303.22	242.8	3520.23	237.6	57.48	65.95	1.29	3.41	3.06	0.60
4746.4	85.88	477.5	309.86	230.8	3757.53	237.8	61.53	49.45	2.05	3.13	3.91	0.59
4915.1	89.66	493.6	386.24	214.4	3627.07	236.4	60.38	68.42	1.96	3.59	3.68	0.59
4729.3	83.37	484.9	314.88	241.1	3529.08	241.1	61.90	60.11	1.52	2.63	3.59	0.65
4796.1	81.68	474.2	387.16	218.8	3617.12	246.6	55.96	56.54	1.50	3.71	3.45	0.55
4809.6	88.78	453.4	347.74	203.9	3520.26	249.3	57.15	69.41	1.17	3.53	3.6	0.90
4608.2	80.06	487.7	340.24	240.2	3515.89	247.8	66.03	51.93	1.98	3.05	3.3	0.50
4920.0	82.47	476.6	354.27	218.7	3592.86	246.7	58.93	53.93	2.30	3.47	3.29	0.69
4522.0	89.32	499.9	362.81	207.1	3521.68	241.8	69.89	67.27	1.77	2.84	3.6	0.87
4722.6	89.87	471.9	398.57	214.3	3522.49	232.9	57.83	67.23	2.40	3.05	3.69	0.57
4992.4	88.38	493.1	350.82	235.6	3737.06	246.4	61.59	50.30	1.04	3.76	3.29	0.99
4949.2	80.86	450.9	388.07	236.7	3696.49	233.7	68.63	49.24	1.51	3.31	3.29	0.82
4735.2	81.93	455.7	367.98	249.7	3603.62	243.4	69.48	67.85	2.78	3.75	3.97	0.51

Elaboración propia. Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Análisis de variables

Cada variable tiene una data histórica, por lo tanto, a cada variable se le asignará la distribución que más se ajusta a la muestra utilizando el software Arena.

X1= Excesiva temperatura de la bomba del sistema de circulación. Se produce entre 4500 y 5000 horas. Distribución: Beta

Función Asignada: $4.51e+003 + 489 * \text{BETA}(0.747, 1.05)$

X2= Falta de presión constante en irrigador de asfalto. Se produce entre 80 y 90 horas. Distribución: Beta

Función Asignada: $80 + 10 * \text{BETA}(0.638, 0.45)$

X3= Falla en la válvula de compresión. Se produce cada 450 a 500 horas Distribución: Beta

Función Asignada: $450 + 50 * \text{BETA}(0.954, 0.937)$

X4= Tamaño de la bombilla en irrigador de asfalto no es correcto. Se produce cada 300 a 400 horas Distribución: Beta

Función Asignada: $303 + 96 * \text{BETA} (0.615, 0.629)$

X5= Averías en el sistema de control. Se produce entre 200 a 250 horas.

Distribución: Beta

Función Asignada: $201 + 49 * \text{BETA} (1.07, 0.886)$

X6= Averías en el sistema de válvulas del flujo de material. Se produce entre 3500 y 3800 horas Distribución: Beta

Función Asignada: $3.5e+003 + 286 * \text{BETA} (0.704, .87)$

X7= Bitumeter no mide correctamente de recorrido en distancia (pies). Se produce entre 230 y 250 horas Distribución: Normal

Función Asignada: NORM (239, 7.54)

X8= Fallas en el tanque aislado. Se produce entre 55 y 70 horas. Distribución: Beta

Función Asignada: 55 + 15 * BETA (0.874, 0.685)

X9= Fallas de funcionamiento de la unidad de remolque. La corrección dura entre 48 y 72 horas Distribución: Beta

Función Asignada: 48 + 24 * BETA (0.838, 0.957)

X10= Baja presión motores de traslación y giro. La corrección dura entre 1 y 2 horas. Distribución: Weibull

Función Asignada: $1 + \text{WEIB}(1.02, 2.03)$

X11= Desgaste de cadena de giro de remolque. La corrección dura entre 3 y 4 horas. Distribución: Beta

Función Asignada: $2.37 + 1.63 * \text{BETA}(1.78, 1.38)$

X12= Rodillos de presión obstruido. La corrección dura entre 3 y 4 horas.

Distribución: Beta

Función Asignada: $3 + 1 * \text{BETA}(1.12, 1.19)$

X13= Válvulas hidráulicas o neumáticas desgastadas. La corrección dura entre 0.5 y 1 hora.

Distribución: Beta

Función Asignada: $0.37 + 0.63 * \text{BETA}(1.8, 1.57)$

Con las funciones asignadas a cada variable se utiliza dicha información para iniciar el proceso de simulación de la máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM.

Simulación en el software arena

Modelo Actual

Ahora se muestra la imagen del proceso de simulación en la máquina Planta de Asfalto. Una vez que se corre este proceso en el sistema arena, el programa nos emitirá reportes que nos servirán para analizar los tiempos en el proceso.

Figura N° 67: Proceso Simulación máquina Planta de Asfalto Terex

Este reporte nos indica el tiempo promedio en que la producción se encuentra dentro del sistema de simulación. En este caso como muestra de una primera réplica en el sistema el tiempo asciende a 8.9656 horas.

Figura N° 68: Reporte sistema de simulación

Tally	
Interval	Average
tsist	8.9656

Esta información se calcula en el software arena según la data de tiempo entre fallas y la data de tiempo empleado para corregir las fallas.

Tabla N° 87: Data de tiempo entre fallas

Unnamed Project				Replications: 10			
Replication 1		Start Time:	0.00	Stop Time:	7,488.00	Time Units:	Hours
Statistic	Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent			
BUSY	996	6.7646	89.98	89.98			
FAILED	281	1.7327	6.50	6.50			
IDLE	723	0.3645	3.52	3.52			

Tabla N° 88: Tiempo en el Sistema Modelo Actual

Replica	Tiempo en el sistema (Horas)
1	8.9656
2	9.0727
3	13.3317
4	8.9349
5	10.8296
6	9.0556
7	13.3229
8	11.067
9	8.7431
10	9.9049
Promedio	10.3228

Modelo propuesto

En este modelo propuesto lo que se va a simular en el software arena son los tiempos que se han estimado en el mantenimiento preventivo RCM realizada a la máquina Planta de Asfalto Terex. Las variables que se han tomado para el modelo son las siguientes:

X1= Mantenimiento diario cada día de una duración de 1.6 horas.

X2 = Mantenimiento cada 6 días de una duración de 0.75 horas.

X3 = Mantenimiento cada 26 días de una duración de 1.25 horas.

X4 = Mantenimiento cada 78 días de una duración de 5.25 horas.

X5 = Mantenimiento cada 156 días de una duración de 2.25 horas.

X6 = Mantenimiento cada 312 días de una duración de 100 horas.

Una vez ingresada la data de cada variable al software de arena el reporte final que nos brinda es que cada producción pasará a través de la máquina Planta de Asfalto AP1055B 8BM en un tiempo promedio de 4.2951 horas. Este tiempo promedio nos indica que existe una reducción aproximadamente mayor al 50 %.

Figura N° 69: Disminución de horas del proceso de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de data Arena.

Figura N° 70: % Disminución del proceso de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de data Arena.

Comparación de escenarios

Se realizarán diez replicas en el escenario actual y en el propuesto para comparar los tiempos promedio que permanecen en el sistema y verificar si estadísticamente el tiempo de permanencia del lote en el proceso propuesto disminuye.

Tabla N° 89: Comparación de Escenarios

Replica	Modelo Actual	Modelo Propuesto
1	8.9656	4.2951
2	9.0727	4.2951
3	13.3317	4.2951
4	8.9349	4.2951
5	10.8296	4.2951
6	9.0556	4.2951
7	13.3229	4.2951
8	11.067	4.2951
9	8.7431	4.2951
10	9.9049	4.2951

Utilizando el método T-Paried se he realizado la comparación de ambos escenarios. Los resultados de esta prueba se muestran a continuación:

Tabla N° 91: Comparación de Modelos – Método T- Paried

REPLICA	ACTUAL MODELO-1	MEJORADO MODELO-2	di	di^2
1	8.9656	4.2951	4.6705	21.814
2	9.0727	4.2951	4.7776	22.825
3	13.3317	4.2951	9.0366	81.660
4	8.9349	4.2951	4.6398	21.528
5	10.8296	4.2951	6.5345	42.700
6	9.0556	4.2951	4.7605	22.662
7	13.3229	4.2951	9.0278	81.501
8	11.067	4.2951	6.7719	45.859
9	8.7431	4.2951	4.448	19.785
10	9.9049	4.2951	5.6098	31.470
		Suma	60.277	391.803
		promedio di	6.0277	

Ahora se empleará la fórmula del test de paridad considerando los siguientes datos:

N= 10 muestras Nivel de confianza= 95% Margen de error= 5%

T (n-1, alfa/2) =2.262

Cálculo de la desviación estándar de las diferencias entre las observaciones pareadas:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - n\bar{d}^2}{n-1}} = . \quad Sd = 1.7786279$$

Calculo de intervalos para la diferencia entre medias; observaciones pareadas:

$$\mu_d = \bar{d} \pm t \frac{S_d}{\sqrt{n}}$$

Límite inferior = 6.0277 - 2.262*(1.778627926 / 3.16227766) = 4.755435

Límite superior = 6.0277 + 2.262*(1.778627926 / 3.16227766) = 7.299965

Entonces:

- Desviación estándar calculada = 1.77862793
- Límite inferior = 4.755435
- Límite superior= 7.299965

El valor promedio de 6.0277 pertenece al intervalo [4.755435, 7.299965]

Los resultados, nos indican que la media del Modelo-1 es mayor que la del Modelo-2, para un nivel de significancia del 5%, ya que el cero se encuentra a la izquierda del intervalo. Además, los intervalos son mayores a 0 por lo que se demuestra que con la implementación del mantenimiento RCM, el tiempo promedio del proceso de mantenimiento de la máquina Esparcidora de Asfalto AP1055B 8BM será menor al actual.

Cálculo de los Indicadores de gestión mejorado

Luego de implementar la estandarización del proceso de mantenimiento, es necesario controlar su implementación para tomar acciones correctivas necesarias, como la adecuada administración y gestión del proceso de mantenimiento con el objetivo de obtener los

resultados de los indicadores de Gestión de Mantenimiento (MTBF y MTTR), para su evaluación y análisis con el fin de mejorar la confiabilidad y mantenibilidad en los equipos de producción con los que desarrollamos nuestras actividades de producción y extendido de asfalto.

Alcance:

Los proyectos donde ICCGSA desarrolla las actividades con equipos propios.

Se considera que los resultados de Ene-Mar 2018 son registrados antes de la implementación. El período abril- junio 2018 se obtuvo en el transcurso de la implementación de la metodología RCM.

OEE

Overall Equipamiento Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos) es un indicador internacionalmente reconocido que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria.

Para ello vamos a tomar la data de enero a junio 2018. Con ello utilizaremos los promedios de cada rango solicitado para la OEE.

Tabla N° 92: Datos disponibilidad

CENTRO DE COSTO	DISP	HR W	HR M	HR V	HR R	HR C	HR M (C)	HR (T)	T. Prog
EPE25336DL1	1144.8	1573.2	277.2	18	167	0	0	0	1440
EPE25336DL2	1200	1803	204	42	143	0	0	0	1440
EPE25336DL3	1236	1824.6	192	30	134	0	0	0	1440
EPE25336DL4	1162.8	1457.4	253.2	72	109	0	0	0	1440
EPE25336DL5	1093.8	1409.4	244.2	102	100	0	0	0	1440
EPE25336DL7	1135.8	2101.2	256.2	48	112	0	0	0	1440
EPE25336DL8	1156.8	1744.8	235.2	48	110	0	0	0	1440

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Donde:

- HW: Horas trabajadas REALES
- Dispo: Horas de trabajo planeadas
- HR M: Horas de mantenimiento preventivo
- HR V: Horas de equipos malogrado
- HR R: Horas de reparación

Luego de tener esta información clave para desarrollar el indicador OEE. Empezaremos a calcular los parámetros necesarios para hallar dicho indicador.

Tabla N° 93: Tiempos y disponibilidad de equipos

	TD	TPNF	TPP	TF	TPA
EPE25336DL1	1440	48	277.2	1114.8	185
EPE25336DL2	1440	48	204	1188	185
EPE25336DL3	1440	48	192	1200	164
EPE25336DL4	1440	48	253.2	1138.8	181
EPE25336DL5	1440	48	244.2	1147.8	202
EPE25336DL7	1440	48	256.2	1135.8	160
EPE25336DL8	1440	48	235.2	1156.8	158

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Donde:

- **TD:** Tiempo Total Disponible (es el teórico según disponibilidad de obra el cual es 8 hrs diarias).
- **TPNF:** Tiempo Planificado para no Funcionar (es el tiempo después de la jornada de trabajo el cual es de 15 minutos por día, el cual implica revisiones diarias del operador antes de iniciar jornada).
- **TPP:** Paradas Planificadas (por Descansos) (son las horas de mantenimiento preventivo realizadas durante 1 año).
- **TF:** Tiempo de Funcionamiento (tiempo real de trabajo del equipo fuera de las paradas).
- **TPA:** Preparaciones y Ajustes (tiempo de reparaciones y/o ajustes por fallas).

Luego procedemos a realizar los cálculos respectivos según el cuadro a continuación.

Tabla N° 94: OEE mejorado

Descripción	Símb.	Fórmula	Resultado
Tiempo Total Disponible	TD		
Tiempo Planificado para no Funcionar	TPNF		
Paradas Planificadas (por Descansos)	TPP		
Tiempo de Funcionamiento	TF	$TF=TD-TPNF-TPP$	1154.57
Utilización	EU	$EU=(TF/ TD) \times 100\%$	80.18%
Preparaciones y Ajustes	TPA		205.71
Tiempo de Operación	TO	$TO= TF- TPA$	948.86
Disponibilidad Planificada	DP	$DP=(TO / TF) \times 100\%$	82.18%
Parada no Planificada	TPNP		250.00
Tiempo de Operación Neto	TON	$TON=TO - TPNP$	698.86
Grado de Funcionamiento	UT	$UT=(TON / TO) \times 100\%$	73.65%
Disponibilidad	EA	$EA=(TON / TF) \times 100\%$	90.00%
Funcionamiento sin producción y paradas menores	TFSP		1
Pérdida o menor velocidad	TMV	10% TON aprox.	1
Tiempo de operación utilizable (se fabrica productos buenos y malos)	TOU	$TOU=TON-TFSP-TMV$	696.857
Eficiencia en el Desempeño	PE	$PE=(TOU / TON) \times 100\%$	99.71%
Defectos del proceso	TDP		43
Tiempo productivo neto (solo se fabrica productos buenos)	TPN	$TPN=TOU - TDP$	653.857

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Tabla N° 90: Resultado OEE

Disponibilidad	EA	$EA = (TON / TF) \times 100\%$	89.78%
Eficiencia en el Desempeño	PE	$PE = (TOU / TON) \times 100\%$	94.83%
Grado de Calidad	RQ	$RQ = (TPN / TOU) \times 100\%$	98.95%
Productividad Efectiva Total	TEEP	$TEEP = EU \times EA \times PE \times RQ$	67.51%
Efectividad Total	OEE	$OEE = EA \times PE \times RQ$	84.23%

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. - ICCGSA

Figura N° 71: Incremento del OEE

Elaboración propia, Fuente: Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. -ICCGSA

Como podemos observar en la figura N°71 tenemos un incremento de la OEE quiere decir que los resultados indicados de los nuevos tiempos de mantenimiento en los puntos anteriores causaron un incremento de la eficiencia.

Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) o Primera Parada después de PM

Para el cálculo del MTBF se toma como referencia el objetivo SIG de la gerencia de equipos de ICCGSA.

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ DE HORAS DE OPERACIÓN}}{N^{\circ} \text{ DE PARADAS CORRECTIVAS}}$
-------------------------------------	---

Donde:

$$N^{\circ} \text{ de Horas de operación} = HU - PP - FME$$

HU: Horas utilizadas

PP: Paradas programadas

FME: Fallas mecánicas eléctricas

Primero se calculará el MTBF del equipo Planta de asfalto y luego por sistemas, para poder visualizar la mejora alcanzada.

Horas utilizadas:

Tabla N° 96: Total de horas utilizadas por mes

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
372	336	372	360	372	360

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Paradas programadas por mantenimiento:

Tabla N° 97: Total de horas de parada programado por mes

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
8	7	8	9	9	9

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Fallas mecánicas-eléctricas

Tabla N° 98: Fallas mecánicas - eléctricas en horas.

SISTEMAS	ENER O	FEBRER O	MARZ O	ABRI L	MAY O	JUNI O
Sistema Eléctrico	8	12	8	7	6	4
Sistema Hidráulica	11	10	8	2	4	1
Sistema de Motor	9	8	11	6	5	5
Chasis y recepción de MAC	5	4	5	3	2	4

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Tabla N° 99: N° Fallas mecánicas – eléctricas

SISTEMAS	ENER O	FEBRER O	MARZ O	ABRI L	MAY O	JUNI O
Sistema Eléctrico	9	5	5	4	4	3
Sistema Hidráulica	5	9	6	4	4	3
Sistema de Motor	8	7	6	4	4	4
Chasis y recepción de MAC	7	4	9	5	4	3

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Con los datos descritos en las tablas anteriores se realiza el cálculo del indicador MTBF.

Tabla N° 100: Resultado del MTBF por equipo

SISTEMAS	ANTES			DESPUES		
	ENER O	FEBRER O	MARZ O	ABRI L	MAY O	JUNI O
Sistema Eléctrico	40	63	71	86	102	105
Sistema Hidráulica	71	35	59	92	103	106
Sistema de Motor	44	46	59	86	90	91
Chasis y recepción de MAC	51	81	40	70	103	116

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

- Tiempo Promedio entre Fallas (MTTR)**

Para el cálculo del MTTR se toma como referencia el objetivo SIG de la gerencia de equipos de ICCGSA.

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN (MTTR)	$MTTR = \frac{TIEMPO\ TOTAL\ DE\ REPARACIONES\ CORRECTIVAS}{N^{\circ}\ DE\ PARADAS\ CORRECTIVAS}$
--	---

Tabla N° 101: Resultado del MTTR por sistema

SISTEMAS	ANTES			DESPUES		
	ENER O	FEBRER O	MARZ O	ABRI L	MAY O	JUNI O
Sistema Eléctrico	5.5	4.0	5.1	3.0	2.6	2.0
Sistema Hidráulica	5.5	3.8	4.3	2.7	3.2	2.5
Sistema de Motor	8.0	7.3	6.0	5.5	5.0	4.0
Chasis y recepción de MAC	5.2	3.3	3.0	3.0	2.0	3.0

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Tabla N° 102: Resumen de indicadores de gestión

SISTEMAS	MTBF		FRECUENCIA DE FALLAS		MTTR		N° PARADAS	
	ANTES	MEJORA	ANTES	MEJORA	ANTES	MEJORA	ANTES	MEJORA
Sistema Eléctrico	53	117	10	5	4.9	2.5	8	3
Sistema Hidráulica	55	92	10	4	4.5	2.8	7	4
Sistema de Motor	50	107	9	5	7.1	4.8	7	3
Chasis y recepción de MAC	58	105	5	2	3.8	2.7	7	4

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

Como podemos observar en la Figura N°72 se ha logrado incrementar el MTBF en 39% cumpliendo así uno de los objetivos descritos en el capítulo II. Además, podemos decir que la confiabilidad del equipo planta de asfalto aumento ya que se ha minimizado los eventos de parada no programada.

Figura N° 72: Incremento del MTBF

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

En la Figura N° 73 observamos que el tiempo de parada del equipo se está usando de manera efectiva ya que ha disminuido en 25 % lo cual nos indica sobre la facilidad y eficiencia del mantenimiento.

Figura N° 73: Disminución del MTTR

Fuente: Elaboración propia SAP 2018

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La gestión moderna del mantenimiento consiste en reducir las actividades del mantenimiento correctivo, con el cual se interviene cuando el fallo se ha producido, restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina; hacia el mantenimiento preventivo, cuyo fin es evitar la aparición de las fallas y las paradas de maquinaria no programada, con la finalidad de garantizar la producción continua.
- En el diagnóstico de este efecto indica que se viene perdiendo por paradas de producción, sobrecostos en el área de mantenimiento y penalidades, cerca de S/. 1, 152,494 en el último año debido al aumento de las paradas de mantenimiento no programado. Estas paradas son causadas principalmente por la gestión inadecuada del mantenimiento y la mala realización de las tareas de mantenimiento, lo cual refleja la necesidad de mejorar el sistema de mantenimiento de la empresa.
- La propuesta de mejora desarrollada indica la elaboración de un nuevo modelo de gestión del mantenimiento de la empresa ICCGSA basado en el RCM, a través de sus pilares de mantenimiento preventivo, jerarquización de fallas y mejora de los tiempos de reparación.
- La aplicación del AMEF jerarquizó mediante el análisis de criticidad basado en el NPR las fallas de mantenimiento del equipo planta de asfalto, encontrándose 7 fallas inaceptables, 6 de reducción deseable y 7 aceptables.
- Para afianzar las actividades de predictibilidad del sistema se implementó un plan de mantenimiento diario y cada dos semanas, con el cual los técnicos de mantenimiento revisan el funcionamiento de todos los equipos, con la finalidad de detectar oportunamente cualquier falla.
- Dentro de las actividades implementadas en el RCM, se elaboraron las hojas de decisión de la máquina Planta de Asfalto, la elaboración de Check list de actividades de mantenimiento, la elaboración de procedimientos de mantenimiento y el plan de mantenimiento.

- La implementación del RCM permitió definir parámetros para conocer la marcha del área de mantenimiento. además de aportar información útil en los que nos basaremos para la toma de decisiones del área.
- La implementación del RCM logro incrementar en 1.21% la OEE, resultado que nos indica que los nuevos tiempos de mantenimiento calculados mediante confiabilidad causaron un incremento de la eficiencia.
- La confiabilidad del equipo planta de asfalto aumento, debido a que se minimizo los eventos de parada no programada logrando así incrementar el MTBF en 39%.
- El tiempo de parada del equipo se esta usando de manera eficiente ya que se logró disminuir en 25% el indicador de MTTR lo cual nos indica acerca de la eficiencia del mantenimiento.
- Para la evaluación financiera se tomó en cuenta la producción después de la mejora implementada para realizar la proyección de las ventas, con lo cual el proyecto tiene un retorno de la inversión TIR entre 34 y 29 % (de acuerdo con el escenario) y un valor actual neto entre S/. 220,788.96 y S/. 169,329.66 (de acuerdo con el escenario); lo cual lo hace viable.

Se recomienda:

- Continuar con la puesta en Marcha de la implementación del RCM en los demás equipos de producción.
- Implementar el programa de mantenimiento elaborado para el equipo planta de asfalto para disminuir las penalidades y los sobrecostos por mantenimiento correctivo no programado.
- Realizar la actualización de los datos de fallas producidas por mantenimiento correctivo no programado para calcular la confiabilidad del equipo y poder implementar las nuevas tareas de mantenimiento al programa diseñado para el equipo planta de asfalto con el fin de garantizar la producción continua de asfalto.
- Monitorear el sistema de recolección de información, para optimizar el análisis de las fallas de mantenimiento.
- Capacitar, concientizar y familiarizar a todo el personal involucrado en el mantenimiento de los equipos para el buen desarrollo de las tareas de mantenimiento y funcionamiento de la línea de producción y extendido de asfalto.
- Mantener la agrupación de expertos que se creó para la implementación de la metodología del RCM con el fin de definir las nuevas tareas de mantenimiento y supervisar la ejecución de los trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, C. (2014) “*Orientaciones para implementar una gestión basada en procesos*”. Recuperado de: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=19&sid=df539f0a-a1a2-466c-b124-add3ecebfd91%40sessionmgr101&hid=119&bdata=Jmxhbmc9ZXMMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=108922112&db=a9h>
2. LEHAN, Bill (2012). Reliability Centered Maintenance (RCM). p33-33. En: Journal of Property Management. Vol. 77 N° 4 <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=10&sid=0a8fd960-c320-4217b119372m0b86bf719e27%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbmc9ZXMM%3d#AN=77617638&db=bsu>
3. Ardila, J. (2016). “*La gerencia del mantenimiento: una revisión* “. Recuperado de <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=17&sid=58c04e09-6e44-4616-b280-f19546574da3%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbmc9ZXMMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=edsdoj.7bce1ea2b14d68a36506a2b84a7d4b&db=edsdoj>
4. Alonso, J. (2012). “*Análisis de modos y efectos de fallas potenciales* “. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10316483&ppg=3>
5. Banco Central de Reserva del Perú (2016). “*Memoria Anual 2016*”. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Memoria/2016/memoria-bcrp-2016-1.pdf>
6. Banco Central de Reserva del Perú (2016). *Reporte de Inflación Setiembre 2016*. Recuperado de: <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2016/setiembre/ reporte-de-inflacion-setiembre-2016.pdf>
7. Cárcel, F. (2016). “*Evolución histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=6&sid=e3e7839a-4d40-4b0d-a347-b8f0ee6e0a2c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=119263508&db=fua>
8. Carcel, F. (2015). “*Industrial Maintenance Engineering and Knowledge Management Improvement in Business Efficiency*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=8&sid=e3e7839a-4d40-4b0d-a347-b8f0ee6e0a2c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=112003320&db=asx>
9. Crespo, A. (2012). “Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM). Técnica de Optimización de planes de Mantenimiento: Gestión de Activos”. Recuperado de:
10. <https://www.amazon.com/Mantenimiento-Centrado-Fiabilidad-T%C3%A9cnica-Optimizaci%C3%B3n-ebook/dp/B009A9YNCS>
11. Cuatrecasas, L. (2012). “*Organización de la producción y dirección de operaciones: sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*”. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10862551>

12. Cruz, P.; Echaveguren T.; González, P. (2016). “*Estimación del potencial de rollover de vehículos pesados usando principios de confiabilidad*”. Revista Ingeniería de Construcción. Universidad de Concepción – Chile. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/728/pdf>
13. D’Alessio, F. (2015) “Administración de las operaciones productivas : un enfoque en procesos para la gerencia”. Recuperado de: <http://caliope.pucp.edu.pe/uhtbin/cgisirsi/?ps=z70SHY12em/CENTRAL/59510200/9>
14. Delgadillo, R.; Segovia, M.; Wahr C.; Thenoux, G. (2016). “*Superpave zoning for Chile Zonificación superpave para Chile*”. Revista Ingeniería de Construcción. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/732/pdf>
15. Diaz, R. (2016). “*Procedure for integrating production planning and maintenance planning to tactical level*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=12&sid=e3e7839a-4d40-4b0d-a347-b8f0ee6e0a2c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=113479160&db=fua>
16. Díaz-Concepción, A.& Cabrera, J. (2016) “*Implementation of Reliability Centered Maintenance in electrical transmission companies*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=17&sid=6e18221a-4a12-457d-ae9f-dfc8c9e14d94%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=118565036&db=fua>
17. Domínguez, C.; João Felgueiras J.; Varajão J. (2016). “*Environmental management systems certification: insights from Portuguese construction companies*”. Environmental Engineering and Management Journal. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=9c5f16b1-375b-4794-8938-ca714298ce1c%40sessionmgr4006>
18. Echaveguren, T.; Chamarro, A.; De Solminihac, H. (2016). “*Concepts for modeling road asset management systems using agent-based simulation*”. Pontificia Universidad Católica de Chile. Revista Ingeniería de Construcción. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/734/pdf>
19. Fernandez, M.; Shkiliova, L. (2012). “*Validation of a method for the calculation of maintenance indicators*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=906fde64-771b-4d86-b17c-4482b1639a53%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=108347640&db=fua>
20. Gillet, F. (2014). “*La caja de herramientas: control de calidad*”. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=11013635>
21. Govindan K., Madan K., Kanna D. (2016). “*Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach*”. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=7&sid=9c5f16b1->

8938ca714298ce1c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=111740872
&db=8gh

22. Gonzáles, C.; Domingo, R.; Pérez, M. (2013). “*Técnicas de mejora de la calidad*”. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10803889>
23. Goti, A. (2014). “*Application of a maintenance management system based on a tailored RCM*”. Recuperado de: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=12&sid=58c04e09-6e44-4616-b280-f19546574da3%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=96320421&db=fua>
24. García, O. (2016). “*Modelo mixto de confiabilidad*”. Recuperado de: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/modelo-mixto-de-confiabilidad>
25. Herrera, M.; Duany, Y. (2016). “*Methodology and implementation of maintenance management program*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=e3e7839a-4d40-4b0d-a347-b8f0ee6e0a2c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=113479163&db=fua>
26. Instituto de Estadística e Informática. *Compendio estadístico 2015 – Construcción*. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1253/cap17/cap17.pdf
27. Leiva, F.; Pérez E.; Aguilar, J.; y Loria L. (2016). “*Permanent deformation model for pavement condition assessment*”. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. Costa Rica. Revista Ingeniería de Construcción. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/733/pdf>
28. López C., Thenoux G., Sandoval G., Armijos V., Ramírez A. Guisado F., Moreno E. (2016). “*Study of warm mix asphalt with super stabilized emulsion*”. Revista Ingeniería de Construcción. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/735/pdf>
29. Marín-García, J. A., & Mateo Martínez, R. (2013). “*Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. Intangible Capital*” 823-853. doi:10.3926/ic.360 Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=c83e91bb-92f9-4f30-af8b-b0ac17799980%40sessionmgr103>
30. Mendoza, H. (2012). “*Criticality analysis, a methodology to improve the operational reliability*”. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=6e18221a-4a12-457d-ae9f-dfc8c9e14d94%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=32652789&db=fua>
31. Ministerio de Economía y Finanzas (2017). “*Marco Macroeconómico Mundial Revisado 2017 – 2019*”. Recuperado de

https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/marco_macro/MMM_2017_2019_Revisado.pdf

32. Namías, S. (2016) “*Análisis de la producción y las operaciones*”. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcmhe/detail.action?docID=10914219&p00=confiabilidad+mantenimiento>
33. Raposeiras, A.; Movilla, D.; Vargas, A.; Bilbao, R.; Cifuentes, C. (2016). “Evaluation of Marshall stiffness, indirect tensile stress and resilient modulus in asphalt mixes with reclaimed asphalt pavement and copper slag”. *Revista Ingeniería de Construcción. Universidad Austral de Chile*. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/731/pdf>
34. Sánchez, A. (2012).” *La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento*”. Recuperado de: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=e3e7839a-4d40-4b0d-a347-b8f0ee6e0a2c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=edsdoj.5d43668e6416482994ed53e9cdde1840&db=edsdoj>
35. Schiavoni, S.; D’Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. (2016). “*Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis*”. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=6&sid=9c5f16b1-375b-4794-8938-ca714298ce1c%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=116160222&db=8gh>
36. Semana Económica (2012) “*Inversión privada en construcción ascenderá a US\$30,000 millones este año*”. Recuperado de <http://semanaeconomica.com/tema/inversion-privada-en-construccion-ascendera-a-us30000-millones-este-ano/>
37. Stachú, W. (2012). “*Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa*”. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10316210>
38. RAHARDJO, B. (2016). Safety Management in an Oil Company through Failure Mode Effects and Critical Analysis. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 1-9. doi:10.9744/jti.18.1.1-10 <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=229292c1-bf17-4bd28a4bcab93a9d9366%40sessionmgr105&hid=124&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#>
39. KÜÇÜK, Mehmet; İŞLER, Meral; GÜNER, Mücella. (2016) An application of the FMEA method to the cutting department of a clothing company. En: *Journal of Textile & Apparel / Tekstil ve Konfeksiyon*. Vol. 26 N° 2, pp. 205-212. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=742d5a3b-5dd6-4046-962c-9d0067052718%40sessionmgr4007&vid=16&hid=4109&bdata>
40. GANGI, Sergio (2012) *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial

41. LÓPEZ RODRIGUEZ, María Isabel y LÓPEZ LINARES, Patricia (2014) Uso Secuencial de Herramientas de Control de Calidad en Procesos Productivos: Una Aplicación en el sector Agroalimentario Vol. 18, pp. 73-95.
42. NAVA CARBELLIDO, Víctor Manuel (2014) Implantación de la Mejora Continua Estudios Generales, Vol. 24 N.º 108 pp. 107-28
43. Villanueva, E. (2014). "*La productividad en el mantenimiento industrial*". Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/detail.action?docID=11017468&p00=la+productividad+mantenimiento+industrial>
44. TORNÉ, I. G., CHOY, S. L., y CASTILLO SERPA, A. D. (2016). Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma Norsok Z-013. INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería, 24(2), 198-205. (consulta: 03 de setiembre del 2016) (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=4&sid=ea9f411d-5258-4f17-a054-694a9c00dd9c%40sessionmgr4006&hid=4204&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=fua&AN=114708768>)
45. TORNÉ, I. G., CHOY, S. L., & CASTILLO Serpa, A. d. (2016). Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma Norsok Z-013. INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería, 24(2), 198-205. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=4&sid=ea9f411d-5258-4f17-a054-694a9c00dd9c%40sessionmgr4006&hid=4204&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=fua&AN=114708768>

ANEXOS

ANEXO N.º 01 CONTROL DE EQUIPOS

Hora 17:00:00

Código	CVQ	Descripción	Descripción Pto.medida	Pto.Medida	22.01.2017	23.01.2017	26.09.2017	27.09.2017	02.10.2017	03.10.2017	04.10.2017
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Sistema eléctrico	24558	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Sistema Hidráulico	15238	2.0	0.0	2.0	2.0	0.0	1.0	2.0
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Sistema Motor	10951	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Sistema Chasis y Recepción de MAC	10951	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Material Rodante	10951	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I50-01	65-600	PLANTA DE ASFALTO	Horas programadas diarias de operación	11332	8.0	8.0	10.0	5.0	10.0	10.0	5.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Sistema eléctrico	742	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Sistema Hidráulico	743	4.0	2.0	2.0	0.0	2.0	3.0	3.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Sistema Motor	742	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Sistema Chasis y Recepción de MAC	10699	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Material Rodante	10699	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I05-411	16-629	CARGADOR FRONTAL	Horas programadas diarias de operación	11083	10.0	10.0	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Sistema eléctrico	14652	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Sistema Hidráulico	10138	0.0	3.0	3.0	0.0	4.0	3.0	1.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Sistema Motor	10751	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Sistema Chasis y Recepción de MAC	10751	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Material Rodante	10751	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-14	19-633	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO	Horas programadas diarias de operación	11135	10.0	10.0	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Sistema eléctrico	1142	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Sistema Hidráulico	1143	1.0	3.0	4.0	1.0	2.0	0.0	3.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Sistema Motor	10757	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Sistema Chasis y Recepción de MAC	10757	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Material Rodante	10757	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I07-33	19-614	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	Horas programadas diarias de operación	11141	5.0	7.0	10.0	5.0	10.0	10.0	5.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Sistema eléctrico	16060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Sistema Hidráulico	16061	3.0	4.0	2.0	3.0	1.0	0.0	2.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Sistema Motor	16067	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Sistema Chasis y Recepción de MAC	16067	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Material Rodante	16067	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I16-85	38-601	ESPARCIDORA	Horas programadas diarias de operación	16068	5.0	10.0	10.0	5.0	10.0	10.0	5.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Sistema eléctrico	2455	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Sistema Hidráulico	2456	3.0	5.0	5.0	0.0	4.0	4.0	1.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Sistema Motor	10897	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Sistema Chasis y Recepción de MAC	10897	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Material Rodante	10897	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I36-240	11-739	RODILLO COMPACTADOR	Horas programadas diarias de operación	11278	7.0	7.0	10.0	5.0	10.0	10.0	5.0

Fuente: ICCGSA – Base de datos SAP mantenimiento

ANEXO N.º 02 HORAS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO

AÑO	TIPO	Fe.inic.ex	Clas	Cl.	Denominación	Texto breve	Cst.tot.re	Status usu	Autor	Status sis	HRS
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	45,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 20	
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	45,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 9	
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	45,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 27	
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	70,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 17	
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	170,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 7	
2017	EQUIPOS DE	05/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	170,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 12	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	58,509.50	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 34	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	170,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 18	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM05	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	210,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 4	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	35,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 4	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	70,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 7	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	63,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 8	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	116,507.36	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 14	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	53,247.61	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 17	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	186,722.98	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 1	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	32,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 8	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	32,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 8	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	48,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 13	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	60,800.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 2	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	REPARACION C	92,584.35	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 4	
2017	EQUIPOS DE	26/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	REPARACION C	45,000.00	INGR	YDEUDOR	LIB. KKMP PF 30	
2017	EQUIPOS DE	03/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	CAMBIO DE MA	0.00	INGR	LZEBALLOS	LIB. KKMP PF 40	
2017	EQUIPOS DE	02/06/2016	ZM01	201	RODILLO TANDEM VIBR	SERV. REPARAC	0.00	INGR	FGARCIA	LIB. KKMP PF 16	
2017	EQUIPOS DE	02/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	CAMBIO DE FA	0.00	INGR	WTRAUCO	LIB. MACO PI 19	
2017	EQUIPOS DE	02/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	CAMBIO DE FA	0.00	INGR	WTRAUCO	LIB. MACO PI 15	
2017	EQUIPOS DE	02/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	CAMBIO DE FIL	30.50	INGR	ACUEVAS	LIB. MACO M 9	
2017	EQUIPOS DE	01/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	RECEP/EVALUA	0.00	INGR	RFERREYRA	LIB. FENA KK 8	
2017	EQUIPOS DE	01/06/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	RECEP/EVALUA	0.00	INGR	RFERREYRA	LIB. FENA KK 5	
2017	EQUIPOS DE	31/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	RECEP/EVALUA	0.00	INGR	RFERREYRA	LIB. KKMP PF 50	
2017	EQUIPOS DE	31/05/2016	ZM01	201	RODILLO COMPACTADO	RECEP/EVALUA	0.00	INGR	RFERREYRA	LIB. KKMP PF 9	
2017	EQUIPOS DE	31/05/2016	ZM01	201	RODILLO NEUMÁTICO A	RECEP/EVALUA	0.00	INGR	RFERREYRA	LIB. KKMP PF 7	
2017	EQUIPOS DE	31/05/2016	ZM02	050	RODILLO COMPACTADO	MTTO PREVEN	0.00	INGR	IINOCENTE	LIB. KKMP PF 16	
2017	EQUIPOS DE	30/05/2016	ZM01	201	CARGADOR FRONTAL	ACEITE SAE 30	152.31	INGR	ACUEVAS	LIB. MACO M 15	
2017	EQUIPOS DE	30/05/2016	ZM02	050	RODILLO COMPACTADO	MTTO PREVEN	0.00	PROG	HSALGADO	LIB. IMPR KK 3	
2017	EQUIPOS DE	30/05/2016	ZM02	050	CARGADOR FRONTAL	MTTO PREVEN	0.00	PROG	HSALGADO	LIB. IMPR KK 2	

Etiquetas de fila	Suma de HRS
ZM01	2520
ZM02	553
Total general	3073

Etiquetas de fila	Suma de HRS
Hrs MC	2520
Hrs MP	553
Total general	3073

Fuente: ICCGSA – Base de datos SAP mantenimiento

ANEXO N.º 03 CÁLCULO DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO

HOJA DE DECISIÓN

MTBF	150									
Ratio de falla	0.0066667									
CALCULOS DE CONFIABILIDAD - METODO DE DISTRIBUCION EXPONENCIAL					CALCULOS DE MANTENIBILIDAD, FAILURE-FINDING TASK					
R=1 - EXP^(-t/MTBF)					FFI=2*(1-R)*MTBF					
TIPO DE FALLA	MES	HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Predictivo (dias)	Mantto Preventivo (dias)	MTTR (min)	
1A1	26.01.2017	20	0	0	100%	0%	0	0	0.00	
1A1	27.01.2017	31	11	1	99%	1%	1	2	1.01	
1A1	29.01.2017	36	5	1	99%	1%	1	2	1.01	
1A1	30.01.2017	47	11	1	99%	1%	1	2	1.01	
1A1	01.02.2017	98	51	3	98%	2%	3	6	3.06	
1A1	02.02.2017	157	59	4	97%	3%	4	8	4.11	
1A1	04.02.2017	182	25	4	97%	3%	4	8	4.11	
1A1	06.02.2017	185	3	5	97%	3%	5	10	5.17	
1A1	07.02.2017	210	25	5	97%	3%	5	10	5.17	
1A1	08.02.2017	214	4	5	97%	3%	5	10	5.17	
1A1	09.02.2017	221	7	7	95%	5%	7	14	7.33	
1A1	10.02.2017	246	25	10	94%	6%	10	19	10.69	
1A1	12.02.2017	247	1	11	93%	7%	11	20	11.84	
1A1	14.02.2017	279	32	11	93%	7%	11	21	11.84	
1A1	18.02.2017	284	5	11	93%	7%	11	26	11.84	
1A1	19.02.2017	289	5	25	85%	15%	25	46	29.53	
1A1	21.02.2017	300	11	25	85%	15%	25	30	29.53	
1A1	22.02.2017	400	100	25	85%	15%	25	46	29.53	
1A1	23.02.2017	401	1	25	85%	15%	25	46	29.53	
1A1	24.02.2017	428	27	27	84%	16%	27	49	32.32	
1A1	27.02.2017	438	10	29	82%	18%	29	53	35.19	
1A1	03.03.2017	442	4	32	81%	19%	32	58	39.61	
1A1	04.03.2017	467	25	32	81%	19%	32	58	39.61	
1A1	06.03.2017	499	32	44	75%	25%	44	76	59.00	
1A1	08.03.2017	552	53	51	71%	29%	51	86	71.65	
1A1	09.03.2017	553	1	53	70%	30%	53	89	75.46	
1A1	11.03.2017	597	44	59	67%	33%	59	98	87.43	
1A1	13.03.2017	767	170	87	56%	44%	87	132	155.39	
1A1	15.03.2017	796	29	100	51%	49%	100	146	194.77	
1A1	16.03.2017	1024	228	170	32%	68%	170	203	528.02	
1A1	17.03.2017	1297	273	179	30%	70%	179	209	590.35	
1A1	18.03.2017	1476	179	228	22%	78%	228	234	1042.47	
1A1	21.03.2017	1563	87	273	16%	84%	273	251	1684.92	
1A1	22.03.2017	2025	462	462	5%	95%	462	286	10052.38

Fuente: Elaboración propia data SAP.

TIPO DE FALLA	MES	HOROMETRO	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	ORDENADO	CONFIABILIDAD	Probabilidad de falla	Mantto Preventivo (días)	Mantto Predictivo (días)	MTTR (min)
2A1	01.01.2017	0		0	100%	0%	0	0	0
2A1	01.01.2017	5	5	0	100%	0%	0	0	0
2A1	01.01.2017	17	12	0	100%	0%	0	1	0
2A1	05.01.2017	113	96	0	100%	0%	0	1	0
2A1	06.01.2017	121	8	0	100%	0%	0	1	0
2A1	06.01.2017	125	4	0	100%	0%	0	1	0
2A1	08.01.2017	175	50	0	100%	0%	0	1	1
2A1	08.01.2017	175	0	1	100%	0%	1	1	1
2A1	10.01.2017	226	51	1	100%	0%	1	1	1
2A1	14.01.2017	317	91	1	100%	0%	1	3	1
2A1	14.01.2017	329	12	3	99%	1%	3	6	3
2A1	14.01.2017	330	1	4	99%	1%	4	7	4
2A1	14.01.2017	335	5	5	99%	1%	5	9	5
2A1	15.01.2017	354	19	5	99%	1%	5	10	5
2A1	16.01.2017	365	11	5	99%	1%	5	11	6
2A1	25.01.2017	598	233	6	98%	2%	6	12	6
2A1	27.01.2017	629	31	6	98%	2%	6	12	6
2A1	01.02.2017	761	132	6	98%	2%	6	12	6
2A1	01.02.2017	764	3	8	98%	2%	8	60	8
2A1	10.02.2017	965	201	8	98%	2%	8	16	8
2A1	11.02.2017	989	24	8	98%	2%	8	16	8
2A1	16.02.2017	1109	120	11	97%	3%	11	21	11
2A1	17.02.2017	1133	24	11	97%	3%	11	22	11
2A1	18.02.2017	1169	36	12	97%	3%	12	24	12
2A1	19.02.2017	1196	27	12	97%	3%	12	24	12
2A1	20.02.2017	1213	18	12	97%	3%	12	24	12
2A1	21.02.2017	1231	17	12	97%	3%	12	24	12
2A1	21.02.2017	1246	16	12	97%	3%	12	24	12
2A1	24.02.2017	1313	67	14	96%	4%	14	28	15
2A1	24.02.2017	1319	6	16	96%	4%	16	31	16
2A1	25.02.2017	1337	18	17	95%	5%	17	34	18
2A1	26.02.2017	1345	8	17	95%	5%	17	34	18
2A1	26.02.2017	1364	20	18	95%	5%	18	34	18
2A1	28.02.2017	1409	45	18	95%	5%	18	35	19
2A1	03.03.2017	1505	96	18	95%	5%	18	35	19
2A1	05.03.2017	1553	48	19	95%	5%	19	37	20
2A1	17.03.2017	1836	283	20	95%	5%	20	38	21
2A1	17.03.2017	1841	5	22	94%	6%	22	43	24
2A1	19.03.2017	1894	53	23	94%	6%	23	45	25
2A1	22.03.2017	1953	59	24	94%	6%	24	46	26
2A1	22.03.2017	1961	8	24	94%	6%	24	46	26
2A1	25.03.2017	2016	55	27	93%	7%	27	51	29
2A1	25.03.2017	2034	17	28	93%	7%	28	55	31
2A1	27.03.2017	2074	40	31	92%	8%	31	59	33
2A1	28.03.2017	2096	22	31	92%	8%	31	60	34
2A1	28.03.2017	2097	1	36	91%	9%	36	69	40
2A1	28.03.2017	2103	6	36	91%	9%	36	69	40
2A1	30.03.2017	2141	38	38	90%	10%	38	72	42
2A1	01.04.2017	2189	48	40	90%	10%	40	76	45
2A1	03.04.2017	2233	44	40	90%	10%	40	76	45
2A1	04.04.2017	2280	46	44	89%	11%	44	83	50
2A1	07.04.2017	2333	53	45	88%	12%	45	85	51
2A1	08.04.2017	2361	28	46	88%	12%	46	87	53
2A1	08.04.2017	2362	0	48	88%	12%	48	90	55
2A1	09.04.2017	2393	31	48	88%	12%	48	90	55
2A1	10.04.2017	2405	12	50	87%	13%	50	93	57
2A1	10.04.2017	2406	1	51	87%	13%	51	95	58
2A1	10.04.2017	2417	11	53	87%	13%	53	98	61
2A1	12.04.2017	2457	40	53	86%	14%	53	99	62
2A1	14.04.2017	2513	56	55	86%	14%	55	103	65
2A1	15.04.2017	2528	14	55	86%	14%	56	104	65
2A1	17.04.2017	2585	58	58	85%	15%	58	106	67
2A1	29.04.2017	2863	278	59	85%	15%	59	110	70
2A1	05.05.2017	3002	139	60	85%	15%	60	111	71
2A1	28.06.2017	4313	1311	67	83%	17%	67	122	80
2A1	01.07.2017	4373	60	91	78%	22%	91	161	117
2A1	01.07.2017	4385	12	96	77%	23%	96	169	125
2A1	02.07.2017	4397	12	96	77%	23%	96	169	125
2A1	02.07.2017	4403	6	120	72%	28%	120	205	167
2A1	02.07.2017	4403	0	120	72%	28%	120	205	167
2A1	03.07.2017	4421	18	132	70%	30%	132	222	190
2A1	04.07.2017	4457	36	139	68%	32%	139	231	203
2A1	04.07.2017	4457	0	201	58%	42%	201	309	349
2A1	04.07.2017	4457	0	233	53%	47%	233	345	442
2A1	04.07.2017	4458	0	278	47%	53%	278	389	595
2A1	05.07.2017	4481	23	283	46%	54%	283	394	616
2A1	10.07.2017	4601	120	1311	3%	97%	1311	710	47626

Fuente: Elaboración propia data SAP.

ANEXO N.º 04 DATA DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO

Denominación	Aviso	Clas	Equ	Denominación	Texto breve	Cst.tot.real
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	45,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	45,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	45,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	35,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-64	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	32,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	32,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	45,000.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046642	ZM01	I07-33	RODILLO TANDEM VIBRATORIO	SERV.REPARACIÓN DE	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046598	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	RECEP/EVALUACION G	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046599	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	RECEP/EVALUACION G	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046601	ZM01	I07-14	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPRO	RECEP/EVALUACION G	0.00
Equipos en Transito		ZM02	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	MTTO PREVENTIVO 77	0.00
Proyecto Vial Sierra		ZM02	I06-63	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	MTTO PREVENTIVO PM	0.00
Proyecto Presa Torom		ZM02	I16-84	PAVIMENTADORA DE ASFALTO	MTTO PREVENTIVO PM	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046528	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION DE EQUIP	1,588.35
Equipos en Transito	10046490	ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	0.00
Proyecto San Martin	10046445	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE TAPA DE F	1,145.07
Proyecto San Martin	10046369	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE BOMBA DE	1,021.83
Proyecto Junin	10046331	ZM01	I50-31	PLANTA DE ASFALTO	DESMONTAJE DE PLAT	0.00
Proyecto Presa Torom	10046346	ZM01	I16-84	PAVIMENTADORA DE ASFALTO	CAMB. MOTOR DE VIBR	2,714.21
Proyecto Puente Chino	10046205	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	RELLE. ACEITE SAE 30 A	143.03
Proyecto Presa Torom	10046180	ZM01	I16-84	PAVIMENTADORA DE ASFALTO	EQUIPO REQUIERE CAM	4,706.45
Equipos en Transito	10046181	ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE CIRCULINA	241.16
Proyecto Integración V		ZM02	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	MTTO PREVENTIVO PM	0.00
Proyecto Integración V		ZM02	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	MTTO PREVENTIVO PM	0.00
Proyecto Vial Sierra		ZM02	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	MTTO PREVENTIVO PM	2,527.06
Proyecto Mantenimiento	10046094	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE MANGUER	305.09
Proyecto Mantenimiento	10046096	ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE MANGUER	305.09
Proyecto San Martin	10046116	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	INSPECCION DE BOMB	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046127	ZM01	I16-91	PAVIMENTADORA DE ASFALTO	IMPLEMENTACIÓN DE	575.33
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10046053	ZM01	I16-85	PAVIMENTADORA DE ASFALTO	SERV.DE EVALUACIÓN	0.00
Proyecto San Martin	10046018	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE GOMAS DE	960.68
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM02	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE FILTROS	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación		ZM04	I06-64	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REPARACION GENERAL	4,357.77
Proyecto Puente Chino	10044271	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMB.PARABRISA FRC	600.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045982	ZM01	I06-63	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	IMPLEMENTACION DE	829.78
Patio Lurín-Equipos en Reparación	10045983	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	IMPLEMENTACION DE	829.78
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045984	ZM01	I06-64	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	IMPLEMENTACION DE	829.78
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045985	ZM01	I06-63	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	ANULADO	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045990	ZM01	I06-64	RODILLO COMPACTADOR VIBRA		0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045991	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	IMPLEMENTACIÓN DE	186.66
Proyecto Red Vial Hua	10045995	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMBIO DE FOCO H3 2	7.12
Proyecto Junin	10046004	ZM01	I50-31	PLANTA DE ASFALTO	CAMBIO DE REGULADO	756.00
Proyecto Puente Chino	10046006	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	INS. PIN DE TRABA DIR	711.84
Proyecto Puente Chino	10046007	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CAMB. MOTOR, GUAR	4,013.38
Proyecto Puente Chino	10046008	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	CORREC. VARIOS VALV	316.79
Proyecto San Martin	10045930	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	INSPECCIÓN DE TURBO	0.00
Proyecto San Martin	10045931	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REVISION DE CLAXON	0.00
Proyecto San Martin	10045932	ZM01	I06-61	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	REVISION DE CHAPA D	0.00
Taller Lurín-Equipos en Reparación	10045945	ZM01	I06-62	RODILLO COMPACTADOR VIBRA	PRUEBA DE EQUIPO	149.07

ANEXO N.º 05: PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN CARRETERA QUINUA – SAN FRANCISCO II ACUMULADO AGO. A NOV.21017

PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN																Código: 0972	
		CARRETERA QUINUA - SAN FRANCISCO II																Versión del documento: 1	
																		Fecha aprobación: -	
																		Página: 1 de 1	
																		Elaborado por: Operaciones	

Descripción	RENDIMIENTO		und	Cantidad Requerida		-				-				-				-				Acumulado		
	Turno 1			Total	Acumulado a Sem 29	Sem 30	Sem 31	Sem 32	Sem 33	Sem 34	Sem 35	Sem 36	Sem 37	Sem 38	Sem 39	Sem 40	Sem 41	Sem 42	Sem 43	Sem 44	Sem 45		Sem 46	Sem 47
PAVIMENTO DE ASFALTO				8%	5%	8%	9%	10%	10%	10%	10%	9%	10%	8%	8%	10%	10%	9%	8%	10%	10%	9%	8%	9%
	TREX																							
LA ROCA	730	m³	200,000.00	36,000.00	2,160.00	3,027.00	3,027.00	4,000.00	2,985.00	3,027.00	3,024.00	3,000.00	4,950.00	2,985.00	3,025.00	4,000.00	3,950.00	2,984.00	2,995.00	4,200.00	4,000.00	2,000.00	2,097.00	
RECURSOS																								
PLANTA DE ASFALTO		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ESPARDORA		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RODILLO TANDEM		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RODILLO NEUMÁTICO		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CARGADOR FRONTAL		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 1		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 2		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 3		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 4		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 5		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 6		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 7		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 8		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 9		und			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VOLQUETE 10		und			-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00
VOLQUETE 11		und			-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-

ANEXO N.º 06: REGISTRO DE INCIDENCIAS

Falla / Observación	Acción correctiva	Tipo Trabajo	Mes	Inicio			Fin			Time
				Fecha	Hr	Min	Fecha	Hr	Min	Hrs
No funciona giro de pluma	Se evaluo funcionamiento de giro de pluma	AM sin parada de operación	9	17-09-17	3	20	17-09-17	4	30	1.2
Falla del sistema de bombeo	Se procedio al bombeo manual	AM por mala operación	9	17-09-17	11	0	17-09-17	12	0	1.0
Motor diesel no arranca	Se cambio bateria	AM sin parada de operación	9	17-09-17	11	30	17-09-17	13	20	1.8
Falla del sistema de bombeo	Se dio manto a bobinas de electrovalvulas	AM sin parada de operación	9	17-09-17	8	30	17-09-17	10	30	2.0
Falla del giro de pluma	Se encontro concetro en sensor de giro de pluma	AM por mala operación	9	16-09-17	9	30	16-09-17	10	45	1.3
Fuga de aceite por motor de batidor	Se anulo motor de batidor	AM sin parada de operación	9	16-09-17	12	0	16-09-17	13	30	1.5
Fuaga de agua por el radiador	Se evaluo fuga de agua por el radiador	AM sin parada de operación	9	16-09-17	15	0	16-09-17	16	0	1.0
Motor diesel no arranca	Se cambio bateria baja	AM sin parada de operación	9	16-09-17	19	40	16-09-17	20	40	1.0
Falla el sistema de encroche	Se corrigio sistema de encroche proviciona l	AM sin parada de operación	9	16-09-17	18	0	16-09-17	22	0	4.0
No arranca motor diesel	Se paso corriente a btaeria baja	AM sin parada de operación	9	17-09-17	18	0	17-09-17	19	0	1.0
No carga aire	Se reseteo computadora y se probó carga de aire	AM sin parada de operación	9	17-09-17	12	50	17-09-17	14	0	1.2
Equipo falla el sistema de encroche	Se dio encroche de forma directa	AM sin parada de operación	9	17-09-17	17	0	17-09-17	18	0	1.0
No desbloquea sistema de bombeo elec	Se bombeo de forma manual	AM sin parada de operación	9	17-09-17	11	0	17-09-17	12	0	1.0
Tubo s no completa su carrera	Se cambio bomba	AM con parada de operación	9	18-09-17	14	20	18-09-17	16	30	2.2
No funciona bomba de agua	Se cambio de fusible	AM sin parada de operación	9	19-09-17	6	40	19-09-17	7	35	0.9
No funciona pluma	Se cambio de bomba, apago el equipo encrochado	AM por mala operación	9	21-09-17	11	30	21-09-17	16	30	5.0
Fuga de aire por manguera de gobernad	Se acoplo con union conexión m4	AM sin parada de operación	9	22-09-17	7	10	22-09-17	7	45	0.6
Pernos de soporte de muelle roto	Se cambio perno de forma provicional	AM sin parada de operación	9	22-09-17	16	0	22-09-17	16	40	0.7
Fuga de aceite por manguera de estabili	Se cambio conector roto de estabilizador	AM sin parada de operación	9	22-09-17	13	0	22-09-17	14	15	1.3
Fuga de aceite por cañeria de diferencia	Se cambio por manguera de forma provicional	AM con parada de operación	9	22-09-17	10	15	22-09-17	11	0	0.8
No encrocha el sistema de pluma y pata	Se cambio piston enumatico de encroche	AM sin parada de operación	9	23-09-17	9	0	23-09-17	14	30	5.5
Fuga de aire por pulmon de freno	Se anulo fuga de aire	AM sin parada de operación	9	23-09-17	14	30	23-09-17	16	30	2.0
Fuga de aire por el sistema de encroche	Se colocó conector de aire	AM por mala operación	9	23-09-17	11	30	23-09-17	13	0	1.5
No levanta pluma	Se corrigio de forma provicional	AM sin parada de operación	9	24-09-17	10	0	24-09-17	14	0	4.0
Fuga de aceite por cilindro diferencial	Se cambio de bomba	AM con parada de operación	9	25-09-17	4	20	25-09-17	5	15	0.9
Falla 2do brazo de pluma	Se cambio bobina del 2do brazo	AM sin parada de operación	9	25-09-17	8	50	25-09-17	10	0	1.2
Falla del sistema de bombeo	Se dio manto a bobina de electrovalvula de cambio	AM sin parada de operación	9	28-09-17	15	30	28-09-17	17	30	2.0
Cardan fuera de lugar	Se corrigio de forma provicional y se escolto a taller	AM con parada de operación	9	28-09-17	14	0	28-09-17	15	0	1.0
Se rompio faja de motor diesel	Se cambio faja de motor diesel	AM sin parada de operación	9	29-09-17	15	40	29-09-17	17	40	2.0
Falla 2do brazo de pluma demasiado ler	Se dio mantenimiento a bobina de electrovalvulas	AM sin parada de operación	9	29-09-17	22	20	30-09-17	2	0	3.7
Falta aceite de motor	Se relleno aceite de motor diesel	AM sin parada de operación	9	30-09-17	11	10	30-09-17	12	20	1.2
Falla giro de pluma	Se corrigio giro de pluma desde el control	AM sin parada de operación	10	01-10-17	10	15	01-10-17	14	30	4.3

Componente	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		Total Incidente	Total Horas
	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas	Incidente	Horas		
Frenos / Sist. Neumatico	3	5.3	2	3.3	3	5.1	2	2.5	5	6.6	4	5.4	2	4.3	3	4.8	24	37.3
MOTOR	4	8.8	2	1.5	5	9.4	6	7.8	4	5.7	7	8.7	4	7.9	4	11.3	36	61.1
Sist. ElÉCTRICO	11	14.9	2	3.5	9	11.7	1	2.4	2	2.1	6	14.2	3	3.6	2	2.1	36	54.5
Sist. Chasis y Herramientas de cort	3	5.7	3	5	9	14.4	6	7	4	4.8	3	3.4	6	14.1	6	8.1	40	62.5
Sist. Hdlco Bomba	3	7.1	6	8.5	6	6.8	8	12.1	2	2.2	5	6	7	13.4	3	5	40	61.1
Total AM con parada de operación	26	45.1	15	21.8	36	55.9	24	33.9	19	23.8	28	40.7	24	48.3	19	32.5	191	302
Frenos / Sist. Neumatico													1	1.5			1	1.5
MOTOR	2	3.7					3	10.7	1	1	2	2.2	1	1.5			9	19.1
Sist. ElÉCTRICO	2	3.3	1	2	1	2					1	1.5	3	5.2			8	14
Sist. Chasis y Herramientas de cort			1	3	2	8.1			2	3.3					1	1.2	6	15.6
Sist. Hdlco Bomba					1	2	4	7.5	1	0.5	1	0.8					7	10.8
Total AM sin parada de operación	5	8	2	5	6	16.3	7	18.2	5	6.1	4	4.5	5	8.2	2	2.7	36	69
AM po Caja de Cambios / Embrague							1	1.3					1	2			2	3.3
Elemento desgaste Bomba															1	0.5	1	0.5
MOTOR							1	2	2	4.5			1	1			4	7.5
Sist. ElÉCTRICO	1	1											1	1.2			2	2.2
Sist. Chasis y Herramientas de cort					1	0.7	1	0.8			1	1					3	2.5
Sist. Hdlco Bomba					2	2.1	1	2.8			1	0.8	2	2.3			6	8
Total AM por mala operación	1	1			3	2.8	4	6.9	2	4.5	2	1.8	5	6.5	1	0.5	18	24
Demor Sist. Hdlco Bomba			1	1.5													1	1.5
Total Demora en la entrega del equipo por MANTTO			1	1.5													1	1.5
Total general	32	54.1	18	28.3	45	75	35	59	26	34.4	34	47	34	63	22	35.7	246	396.5

ANEXO N.º 07: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

SISTEMA	OPERACIONES	MANO OBRA					MATERIALES E INSUMOS			HERRAMIENTAS			REPUESTOS					COSTO		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	
		CANT	NIVEL	NIVEL	TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO TOTAL	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	DESCRIPCIÓN	CANT	und		Item	Código	Cantidad	Unidad	Precio unitario US\$	Precio total US\$							
PREPARACION DEL EQUIPO	Elaboración del ATS	2	M3	E2	10	20														X	X	X	X	X	X	
	Lavado del equipo	1	M3		60	60			Agua a presión											X	X	X		X		
	Lavado del equipo (Servicios PM4 Y PM6)	2	M3	M4	240	480			Agua a presión														X		X	
MOTOR	Comprobar Juego Axial del Turbo	1	M2		60	60			Reloj comparador	1	und											X			X	
	Comprobar Luz de Valvulas del Motor. Ajustar si Fuera Necesario	1	M2		120	120			Calibrador de laminas	1	und	REPUESTOS	Sello tapa de balancines	119-2940	1.00	Pza	47.05	47.05				X			X	
	Operar el equipo durante algunos minutos	1	M3		5	5			Llave CAT	1	und									X	X	X	X	X	X	
	Obtener muestra de aceite de motor	1	M3		5	5			Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	0.58	0.58	X	X	X	X	X	X	X	
	Obtener muestra de refrigerante de motor	1	M3		5	5			Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	0.72	0.72	X	X	X	X	X	X	X	
												REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	0.58	0.58	X	X	X	X	X	X	X	
	Drenar aceite de motor	1	M3		5	5	Badeja de 5 gl mínimo	1	und				REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	0.72	0.72	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el filtro de aceite de motor	1	M3		5	5							FILTROS	Filtro de aceite de motor	1R-0739	1.00	Pza	17.38	17.38	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el elemento separador de agua	1	M3		5	5							FILTROS	Filtro elemento separador de agua	151-2409	1.00	Pza	25.06	25.06	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el filtro separador de agua del tanque de combustible	1	M3		6	6							FILTROS	Filtro separar de agua tanque	8N-9803	1.00	Pza	34.10	34.10	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar filtro de línea de combustible	1	M3		5	5							FILTROS	Filtro de línea de combustible	119-0073	1.00	Pza	25.90	25.90	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el Filtro primario de combustible	1	M3		5	5	Disolvente no inflamable						FILTROS	Filtro primario de combustible	1R-0753	1.00	Pza	38.12	38.12	X	X	X	X	X	X	X
	Cambiar el Filtro Secundario de Combustible	1	M3		5	5							FILTROS	Filtro secundario de combustible	1R-0751	1.00	Pza	23.70	23.70	X	X	X	X	X	X	X
	Limpiar rejilla filtro de combustible	1	M3		10	10	Disolvente no inflamable													X						
	Cambiar rejilla filtro de combustible	1	M3		5	5							FILTROS	Rejilla filtro de combustible	9M-2341	1.00	Pza	9.41	9.41		X	X	X	X	X	X
	Limpiar alojamiento y filtro de aire de motor	1	M3		10	10				Aire a presión (30 psi)			REPUESTOS	Sello de rejilla filtro de combustible	8H-2778	1.00	Pza	3.50	3.50		X	X	X	X	X	X
	Verificar indicador de restricción de filtro de aire de motor	1	M3		2	2														X	X	X	X	X	X	
	Cambiar el indicador de restricción del filtro de aire de motor	1	M3		3	3							REPUESTOS	Indicador de restriccion de aire	1W-0613	1.00	Pza	52.92	52.92							X
	Limpiar alojamiento y cambiar filtros de aire de motor	1	M3		10	10							FILTROS	Filtro de aire primario	6I-2503	1.00	Pza	86.77	86.77		X	X	X	X	X	X
													FILTROS	Filtro de aire secundario	6I-2504	1.00	Pza	73.18	73.18		X	X	X	X	X	X
	Limpiar el Respiradero del Motor	1	M3		15	15	Disolvente no inflamable			Aire a presión											X	X	X	X	X	
	Cambiar respiradero de motor	1	M3		15	15							REPUESTOS	Respiradero de motor	2W-9162	1.00	Pza	70.82	70.82						X	X
	Limpiar válvula vacuator	1	M3		10	10														X	X	X	X	X	X	
	Llenado de aceite de motor	1	M3		5	5	Embudo	1	und				LUBRICANTES	Cat DEO SAE 15W-40	SAE 15W-40	4.00	Gln	13.49	53.96	X	X	X	X	X	X	X
	Cebat sistema de combustible	1	M3		10	10														X	X	X	X	X	X	
	Usar limpiador de combustible	1	M3		3	3							LUBRICANTES	Limpiador de combustible	343-6210	1.00	Lt	35.84	35.84				X	X	X	X
	Comprobar tensiones de las fajas de motor	1	M3		5	5														X	X	X	X	X	X	
	Cambiar faja de ventilador	1	M3		40	40							REPUESTOS	Fajas de motor	7E-0744	1.00	Pza	20.22	20.22						X	X
	Drenar refrigerante de motor	1	M3		5	5	Bandeja de 9 gl mínimo	1	und																X	
	Lavado del sistema de refrigeración del motor	2	M2	M3	150	300				Agua			LUBRICANTES	Limpiador de radiador	NGEC	1.80	Gln	51.68	93.02							X
	Limpiar la Tapa del Radiador	1	M3		5	5	Disolvente no inflamable																		X	
	Cambiar el Termostato	1	M3		45	45							REPUESTOS	Termostato de motor	126-5869	1.00	Pza	22.30	22.30						X	X
	Llenado de refrigerante de motor	1	M3		10	10							REPUESTOS	Empaquetadura de termostato	4W-0549	1.00	Pza	2.02	2.02						X	X
	Agregar prolongador de refrigerante	1	M3		5	5							LUBRICANTES	Refrigerante	ELC	8.30	Gln	15.33	127.24							X
	Calentamiento y prueba	1	M3		15	15							LUBRICANTES	Prolongador de refrigerante	P-ELC	0.80	Lt	13.61	10.89						X	X
	HIDRAULICO	Obtener muestra de aceite hidráulico	1	M3		5	5			Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	0.58	0.58	X	X	X	X	X	X	X
Aliviar presiones del sistema hidráulico		1	M3		10	10						REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	0.72	0.72	X	X	X	X	X	X	X	
Comprobar indicador de filtro hidráulico		1	M3		3	3													X	X	X	X	X	X		
Drenar aceite hidráulico		1	M3		10	10	Recipiente de 50 gl	1	und													X			X	
Cambiar el Filtro Hidraulico		1	M3		5	5						FILTROS	Filtro hidráulico	123-2873	1.00	Pza	185.86	185.86				X	X	X	X	
Cambiar el Filtro Hidraulico del tanque		1	M3		5	5						FILTROS	Filtro hidráulico del tanque	054-1719	1.00	Pza	33.66	33.66				X	X	X	X	
Cambiar el Filtro Hidraulico respiradero		1	M3		5	5						FILTROS	Filtro hidráulico respiradero	077-5232	1.00	Pza	34.58	34.58				X	X	X	X	
Limpiar enfriador de aceite hidráulico		1	M3		10	10																X		X		
Llenado de aceite hidráulico		1	M3		20	20						LUBRICANTES	Cat HYDO SAE 10W	SAE 10W	22.00	Gln	11.09	244.07					X		X	
TRANSMISION	Obtener muestra de aceite de los mandos finales	1	M3		10	10			Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	2.00	Pza	0.58	1.16		X	X	X	X	X	X	
	Verificar niveles de aceite	1	M3		5	5						REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	2.00	Pza	0.72	1.44		X	X	X	X	X	X	
	Drenar aceite de los mando finales	1	M3		10	10	Bandeja de 5 gl mínimo	2	und											X	X	X	X	X	X	
	Cambiar filtro de transmisión 1	1	M3		5	5						FILTROS	Aceite de transmisión	144-6691	1.00	Pza	80.79	80.79				X	X	X	X	
	Cambiar filtro de transmisión 2	1	M3		5	5						FILTROS	Aceite de transmisión	077-3492	1.00	Pza	17.49	17.49				X	X	X	X	
	Llenado de aceite de los mandos finales	1	M3		10	10						LUBRICANTES	Cat TDTO SAE 50	SAE 50	2.60	Gln	13.65	35.49		X	X	X	X	X	X	
ELECTRICO	Comprobar Ajuste de Sujetadores de Batería	1	E2		5	5													X	X	X	X	X	X	X	
	Revisar fusibles	1	E2		5	5													X	X	X	X	X	X	X	
	Rearmar disyuntores	1	E2		5	5													X	X	X	X	X	X	X	
	Comprobar estado de cables de baterías	1	E2		10	10													X	X	X	X	X	X	X	
	Verificar nivel de electrolito	1	E2		3	3													X	X	X	X	X	X	X	
	Comprobar alarma de desplazamiento	1	E2		5	5													X	X	X	X	X	X	X	
	Limpiar Baterías	1	E2		10	10													X	X	X	X	X	X	X	

Fuente: Elaboración propia

SISTEMA	OPERACIONES	MANO OBRA					MATERIALES E INSUMOS			HERRAMIENTAS			REPUESTOS					COSTO							
		CANT	NIVEL	NIVEL	TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO TOTAL	DESCRIPCIÓN	CANT	UND	DESCRIPCIÓN	CANT	und		Item	Código	Cantidad	Unidad	Precio unitario US\$	Precio total US\$	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
IMPLEMENTOS	Obtener muestra de aceite de la bomba de accionamiento	1	M3		5	5				Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	0.58	0.58	X	X	X	X	X	X
													REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	0.72	0.72	X	X	X	X	X	X
	Obtener muestra de aceite del accionamiento planetario sin fin	1	M3		5	5				Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	2.00	Pza	0.58	1.16		X	X	X	X	X
													REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	2.00	Pza	0.72	1.44		X	X	X	X	X
	Obtener muestra de aceite del accionamiento planetario del alimentador	1	M3		5	5				Bomba de vacío (1U-5718)	1	und	REPUESTOS	Botella de muestreo	169-7373	1.00	Pza	0.58	0.58		X	X	X	X	X
													REPUESTOS	Botella de envío	4C-4600	1.00	Pza	0.72	0.72		X	X	X	X	X
	Verificar niveles de aceite	1	M3		10	10														X	X	X	X	X	X
	Drenar aceite de la bomba de accionamiento	1	M3		5	5	Bandeja 1 gl mínimo	1	und													X	X	X	X
	Drenar el aceite del accionamiento planetario sin fin	1	M3		5	5	Bandeja 2 gl mínimo	2	und													X	X	X	X
	Drenar el aceite del accionamiento planetario del alimentador	1	M3		5	5	Bandeja 2 gl mínimo	2	und													X	X	X	X
	Limpiar el respiradero de la bomba de accionamiento	1	M3		10	10	Disolvente no inflamable															X	X	X	X
	Llenado de aceite de la bomba de accionamiento	1	M3		8	8							LUBRICANTES	Aceite GO Cat 85W-140	85W-140	0.69	Gln	10.57	7.29			X	X	X	X
	Llenado de aceite del accionamiento planetario sin fin	1	M3		8	8							LUBRICANTES	Aceite GO Cat 85W-140	85W-140	2.60	Gln	10.57	27.49		X	X	X	X	X
	Llenado de aceite del accionamiento planetario del alimentador	1	M3		8	8							LUBRICANTES	Aceite GO Cat 85W-140	85W-140	2.60	Gln	10.57	27.49		X	X	X	X	X
	Comprobar ajuste entre guardas de cadenas y cadenas del alimentador	1	M3		20	20															X	X	X	X	X
	Comprobar desgaste de guardas de cadenas	1	M3		8	8															X	X	X	X	X
	Comprobar Espesor de barras de las Fajas de Alimentación. (cambiar a los 21.2mm)	1	M3		10	10				Vernier 6"	1	und									X	X	X	X	X
	Comprobar daño en los pines de las barras de las fajas de alimentación	1	M3		10	10															X	X	X	X	X
	Ajustar las cadenas de accionamiento del sin fin	1	M3		15	15														X	X	X	X	X	X
	Ajustar las cadenas de accionamiento del alimentador	1	M3		15	15														X	X	X	X	X	X
CHASIS	Limpiar Tapa del Tanque de Combustible	1	M3		5	5	Disolvente no inflamable	1	M3												X	X	X	X	X
	Drenar agua y sedimentos del tanque de combustible	1	M3		5	5														X	X	X	X	X	X
	Limpiar el Sedazo del Tanque de Combustible	1	M3		10	10	Disolvente no inflamable																X		X
	Ajustar las tuercas de unión del brazo del remolque	1	M3		10	10																	X		X
	Limpiar la rueda del soplador del ventilador	2	M3	M4	60	120	Disolvente no inflamable														X	X	X	X	X
	Limpiar los ductos de admisión de ventilación	2	M3	M4	30	60	Disolvente no inflamable																X	X	X
	Comprobar juego de acople de accionamiento del generador	1	M3		5	5																X	X	X	X
	Lubricar	1	M3		30	30				Grasera manual	1	und	LUBRICANTES	Grasa	XHP-222	5.00	Kg	7.4	37	X	X	X	X	X	X
	Comprobar Tension de las orugas	1	M3		20	20														X	X	X	X	X	X
MATERIAL RODANTE	Ajustar las tuercas de las ruedas del mando final	1	M3		20	20																	X		X
	Comprobar estado de los rodillos de carrilería	1	M3		45	45																	X		X
	Comprobar estado de las orugas	1	M3		30	30														X	X	X	X	X	X
	SERVICIO AT2				360																		X		X
MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA MANTENIMIENTOS							BOTIQUIN PRIMEROS AUXILIOS			CAJA DE HERRAMIENTAS										X	X	X	X	X	X
							PAÑOS (26S-2256)													X	X	X	X	X	X
							Manguera de muestreo S.O.S. (4C-4056)													X	X	X	X	X	X

X

Repuesto proporcionado por el Ritmo 5 - Ferreyros

X

Servicio realizado por ICCGSA

Fuente: Elaboración propia.