

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD (RCM) EN PLANTAS MOVILES –
UNIDAD DE NEGOCIOS DE EQUIPOS (UNE) OBRAS DE
INGENIERIA SAC EN EL AÑO 2022”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Christian Felix Bernabe Dolores
Marvin Jhon Mogollon Quispe

Asesor:

Ing. Alfredo Fernando Temoche Lopez
<https://orcid.org/0000-0002-5130-5694>

Lima - Perú

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Bryanna y Kmilah mis preciosas hijas, a mi madre que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional y aún más como persona, por brindarme la confianza, consejos, oportunidades; a mi padre por estar siempre brindándome su apoyo y recursos para lograrlo.

Christian Félix Bernabé Dolores

El presente trabajo de suficiencia profesional va dedicado a Franco y Ariel mis pequeños, a mis padres que siempre estuvieron presentes en cada paso para culminar mis estudios.

Marvin Jhon Mogollon Quispe

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia por su apoyo incondicional. Su presencia esta siempre con migo.

A mis compañeros de estudios, amigos y a todos aquellos que de una u otra forma fueron partícipes de mi trabajo.

A mis profesores, por todas las enseñanzas que nos brindaron a lo largo de toda la carrera ya que cada uno apporto significativamente en nuestros conocimientos actuales.

A la Universidad Privada del Norte por brindarme las enseñanzas que me han permitido Desarrollar este trabajo y concluirlo de una manera satisfactoria.

Christian Félix Bernabé Dolores

Gustoso en agradecer en estas cortas líneas a mi familia por la confianza y fe que depositaron en mi persona para llevar a cabo esta experiencia en mi vida.

A la empresa Obras de Ingeniería SAC, por permitirnos usar los medios para elaborar dicho proyecto, Gerente de equipos Federico Tejeda Moscoso y colaboradores.

A los profesores y asesor, por brindar sus conocimientos y experiencias que suman a nuestras vidas como profesional.

A la Universidad Privada del Norte por permitirme ser parte de su historia a través de sus enseñanzas que me permitirán dar un aporte para el crecimiento de la industria en nuestro país.

Marvin Jhon Mogollon Quispe

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS.....	10
RESUMEN EJECUTIVO	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Descripción de la empresa:	12
1.2. Organigramas:	13
1.3. Servicios:	15
1.4. Contextualización del problema laboral estudiado.....	17
1.5. Objetivos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Mantenimiento.....	19
2.2. Mantenimiento Predictivo.....	20
2.3. Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo.	20
2.4. Confiabilidad	27
2.5. Tablas de criticidad de equipos	29
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	34
4.1. Diagnóstico Inicial.....	34
4.2. Análisis de criticidad	36
4.3. Evaluar los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.	39
4.3.1. Disponibilidad	39
4.3.2. Confiabilidad (MTBF).....	40
4.3.3. Mantenibilidad (MTTR)	42
4.4. Comprobación de objetivos	43
4.5. Cuantificación de las mejoras	49
4.5.1. Resumen mejoras obtenidas.....	49

“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN PLANTAS MOVILES – UNIDAD DE NEGOCIOS DE EQUIPOS (UNE) OBRAS DE INGENIERIA SAC EN EL AÑO 2021”

4.5.2.	Mejoras en los indicadores.....	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		58
5.1.	Conclusiones.....	58
5.2.	Recomendaciones	59
REFERENCIAS		60
ANEXOS		63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	35
Resumen semanal de duración de fallas.	35
Tabla 2	37
Distribución de fallas por equipo involucrado.....	37
Tabla 3	38
Evaluación criticidad equipos.....	38
Tabla 4	39
Resumen semanal de disponibilidad.....	39
Tabla 5	41
Resumen semanal de confiabilidad (MTBF).	41
Tabla 6	42
Resumen semanal de mantenibilidad (MTTR).	42
Tabla 7	44
Análisis de varianza para Objetivo Específico 1	44
Tabla 8.	46
Análisis de varianza para Objetivo Específico 2.	46
Tabla 9	48
Análisis de varianza para Objetivo Específico 3.	48
Tabla 10.	49
Resultados de mejoras implementadas.	49
Tabla 11.	50
Prueba de diferencia de medias para la cantidad de fallas.	50
Tabla 12.	52
Prueba de diferencia de medias para MTBF.....	52
Tabla 13	53
Prueba de diferencia de medias para MTTR	53
Tabla 14.	55
Prueba de diferencia de medias para disponibilidad.....	55
Tabla 15	56
Prueba de diferencia de medias para costo de mantenimiento.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	12
Ubicación del Taller Central de la empresa Obra de Ingeniería SAC.....	12
Figura 2	13
Organigrama general de la empresa.	13
Figura 3	13
Organigrama UNE / Mantenimiento y confiabilidad.....	13
Figura 4	14
Organigrama UNE.	14
Figura 5	14
Organigrama de línea de negocios.....	14
Figura 6	19
Evolución del Mantenimiento.	19
Figura 7	21
Espectro FFT y envolvente - equipo colector VibXpert I.....	21
Figura 8	22
Norma ISO 10816-3.....	22
Figura 9	25
Ferrografía industrial (Elementos de desgaste).....	25
Figura 10	27
Cámara termográfica Flir T 400.....	27
Figura 11	29
Cartilla de criterios.....	29
Figura 12	29
Matriz de criticidad.	29
Figura 13	34
<i>Distribución semanal tiempo de fallas (mínimo, media y máximo).</i>	34
Figura 14	36
<i>Histograma de frecuencias para tiempo de duración de fallas.</i>	36
Figura 15	37
<i>Distribución de fallas por equipo involucrado.</i>	37
Figura 16	40
Distribución semanal disponibilidad.	40
Figura 17	41
<i>Distribución semanal confiabilidad (MTBF).</i>	41
Figura 18	43
<i>Distribución semanal mantenibilidad (MTTR).</i>	43
Figura 19	44
<i>Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 1.</i>	44
Figura 20	46
<i>Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 2.</i>	46

Figura 21	47
Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 3.....	47
Figura 22	51
<i>Evolución semanal de la confiabilidad (MTBF)</i>	51
Figura 23	52
<i>Evolución semanal de la confiabilidad (MTBF)</i>	52
Figura 24	54
<i>Evolución semanal de la mantenibilidad (MTTR)</i>	54
Figura 25	55
<i>Evolución semanal de la disponibilidad</i>	55
Figura 26	56
<i>Evolución semanal del costo de mantenimiento</i>	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fallas Totales	28
Ecuación 2. Tiempo Total de Operaciones	28
Ecuación 3. Tiempo Medio Entre Fallas	28
Ecuación 4. Tiempo Para Restaurar	28
Ecuación 5. Tiempo Medio Para Restaurar	28
Ecuación 6. Relación de Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de informe de fallas.	63
Anexo 2. Informe de falla de motor eléctrico de 200HP de trituradora Metso HP 200.	64
Anexo 3. Informe de reparación de motor eléctrico de 200HP de trituradora Metso HP 200.....	65
Anexo 4. Análisis de aceite de sistema de lubricación de trituradora Metso HP 200.	66
Anexo 5. Análisis termográfico de arrancador de estado sólido para motor eléctrico de 200 HP de trituradora Metso HP200.....	68
Anexo 6. Análisis termográfico de interruptor general de tablero eléctrico de trituradora Metso HP200.	69
Anexo 7. Monitoreo de motores eléctricos de planta móvil.	70
Anexo 8. Monitoreo de Vibraciones en Motor HP200.....	71

RESUMEN EJECUTIVO

El potencial de equipos móviles que cuenta Obras de Ingeniería SAC en su Unidad de Negocios de Equipos (UNE), permite generar a la empresa sus propios recursos de agregados para la mayoría de sus proyectos, por otro lado estos equipos en la actualidad cuentan con un programa básico de mantenimiento preventivo, correctivo y reactivo aun sin eficiencia debido a que en el trayecto del servicio o producción se presentan paradas inesperadas tanto eléctricas, mecánicas como estructurales siendo estas aun no contraladas por el sistema planteado; en este modelo de mantenimiento hasta la fecha han permitido culminar sus actividades requeridas con un sobre costo, las evaluaciones de desmovilización de las plantas móviles de obras a nuestro taller central, encontramos partes con desgastes en componentes eléctricos, mecánicos y estructurales que en algunos casos ya no recuperables, elevando económicamente así su nueva puesta en servicio para atender los siguientes proyectos; ante la realidad descrita implementaremos un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con ayuda de indicadores aplicado a cada equipo crítico de la línea de trituración de roca, minimizando los tiempos de parada inesperadas por desgaste de componentes y otros mostrando nuestros conocimientos aterrizados en los resultados estratégicos para la empresa.

Palabras claves: Unidad de Negocios de Equipos, Preventivo, Correctivo, Reactivo, Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), Plantas móviles.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional se desarrollará en el área de plantas industriales de la sección de unidad de negocios de equipos (UNE) de la empresa Obras de Ingeniería SAC.

1.1. Descripción de la empresa.

La empresa Obras de Ingeniería SAC, se constituye como empresa dedicada a las actividades propias de la industria de la construcción el 15 de setiembre del año 2000. El mercado de infraestructuras vial, para la empresa depende netamente de la inversión pública siendo el principal cliente el Ministerio de Transporte y Comunicaciones a través de las entidades de Provias Nacional y en los últimos años los gobiernos regionales.

Actualmente la empresa cuenta directamente con 56 colaboradores destacados en diferentes áreas, en consorcio Obrainsa – Jolca con 121 colaboradores, en consorcio puentes para el Perú con 8 colaboradores y el consorcio Obrainsa – Zaña con 35 colaboradores.

Figura 1.

Ubicación del Taller Central de la empresa Obra de Ingeniería SAC.

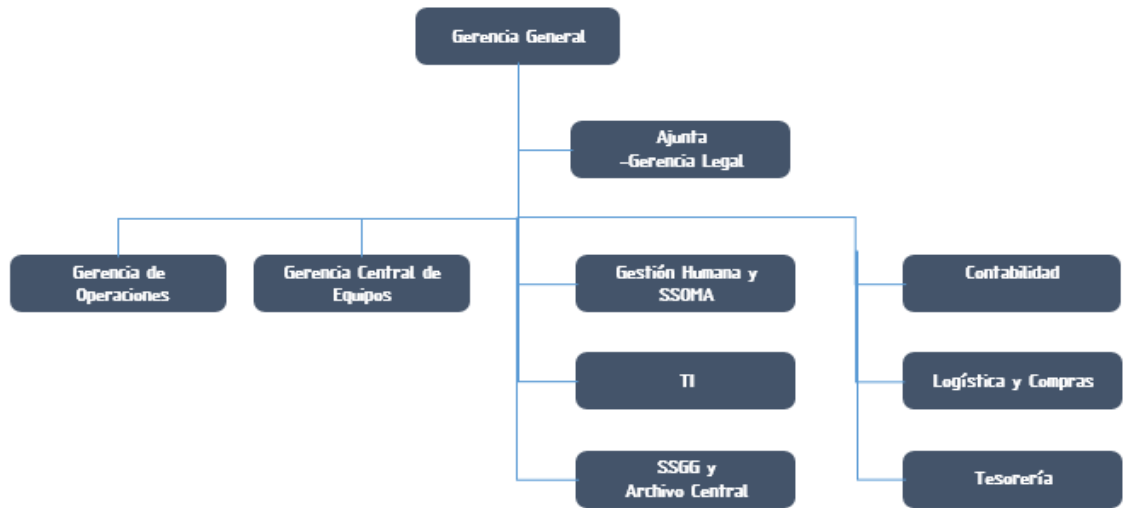


Nota. Extraído de Google Maps, 2022.

1.2. Organigramas.

Figura 2

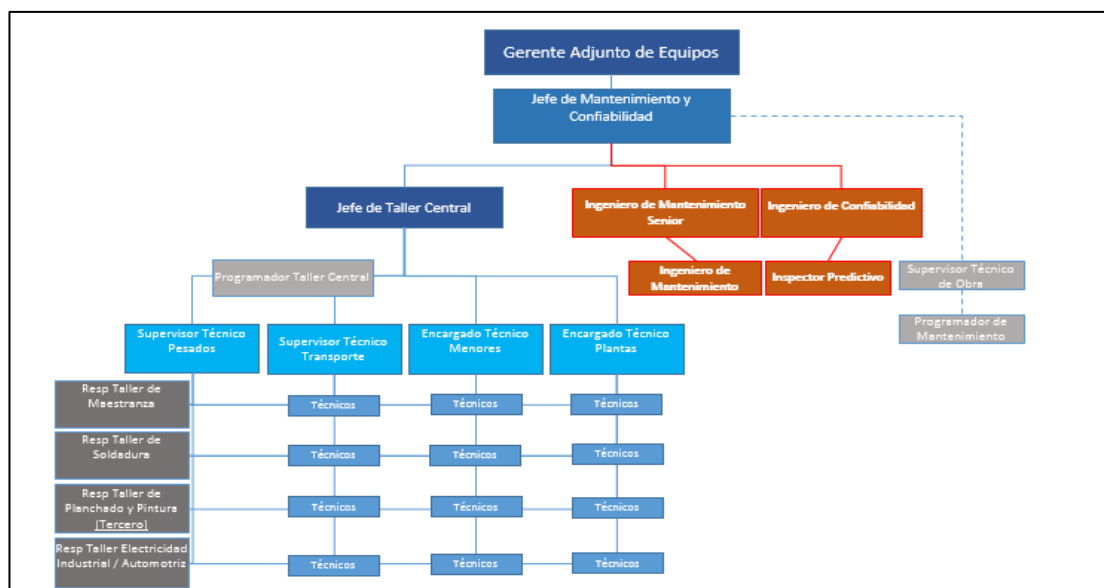
Organigrama general de la empresa.



Nota. Suministrado por RRHH del Consorcio OBRAINSA.

Figura 3

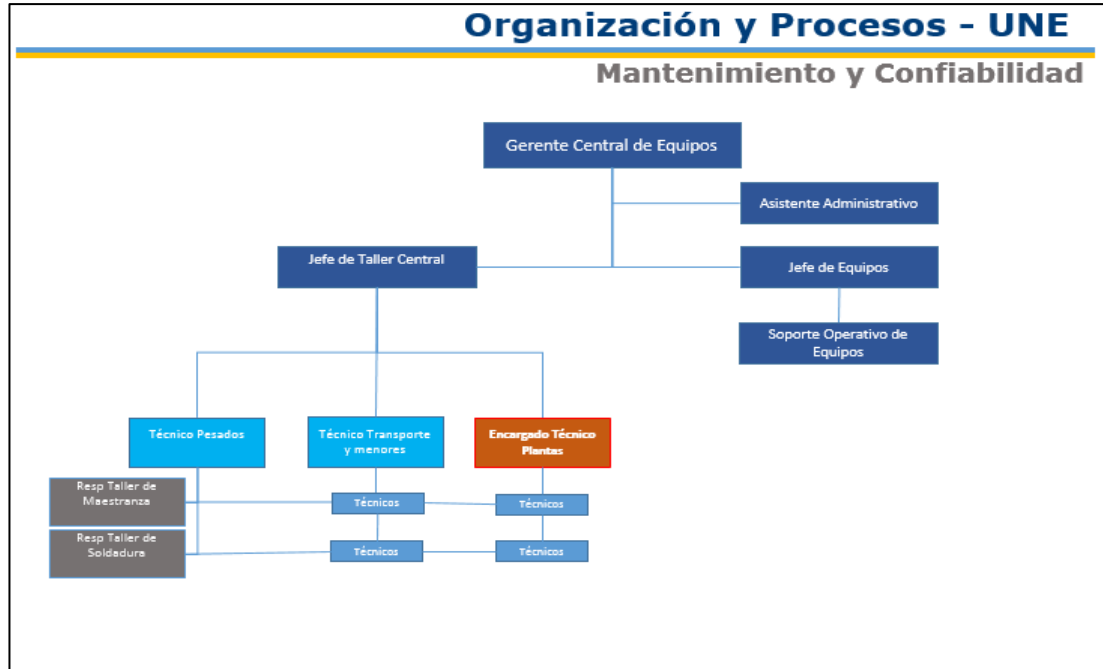
Organigrama UNE / Mantenimiento y confiabilidad.



Nota. Suministrado por RRHH del Consorcio OBRAINSA para él 2018.

Figura 4

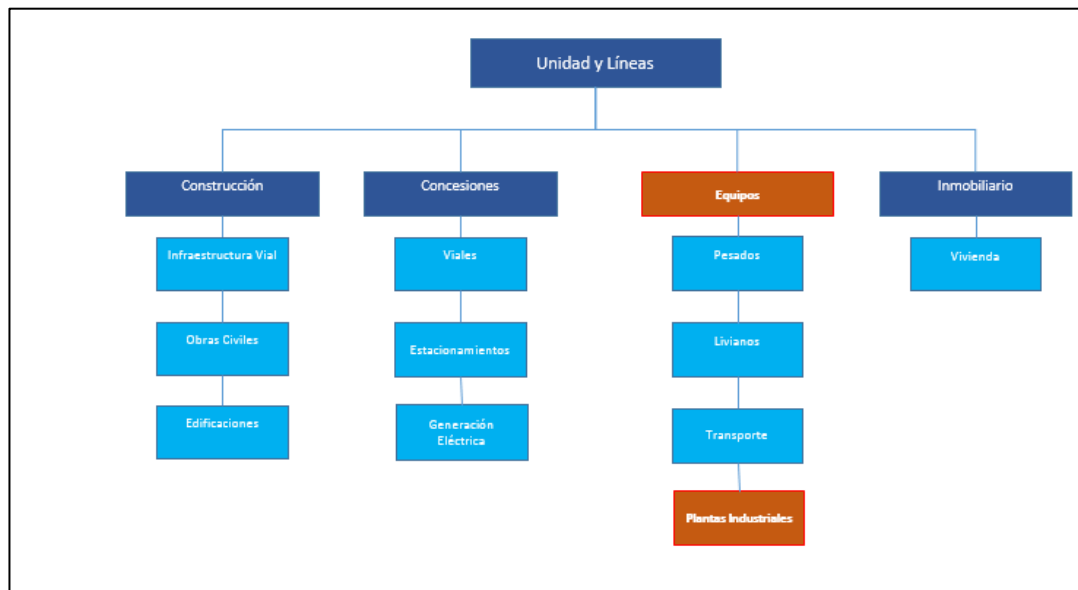
Organigrama UNE.



Nota. Suministrado por RRHH del Consorcio OBRAINSA para él 2021.

Figura 5

Organigrama de línea de negocios.



Nota. Suministrado por RRHH del Consorcio OBRAINSA.

MISIÓN:

Elaborar proyectos de ingeniería y ejecución de obras de construcción que cumplan con los objetivos de nuestros clientes, asegurando una adecuada rentabilidad y contribuyendo de forma sostenida al progreso de nuestros trabajadores y de la comunidad.

VISIÓN:

Ofrecer mejores soluciones de ingeniería de construcción del país.

VALORES

Respeto, compromiso y honestidad.

1.3. Servicios.

Los servicios que ofrecen al mercado Obras de Ingeniería SAC son: construcción de carreteras y vías de ferrocarril, construcción de edificios y construcción de otras obras de ingeniería civil. Dentro de la unidad de negocios en el sector construcción están divididos en 3 niveles de servicios los cuales se muestran a continuación:

Infraestructuras Viales

- Construcción de carreteras
- Rehabilitación y mejoramiento
- Conservación y mantenimiento
- Movimiento de tierras
- Puentes

Obras Civiles

- Centrales de energía
- Presas y represas
- Líneas de conducción hidráulica

- Saneamiento
- Plantas de tratamiento
- Puertos y aeropuertos

Edificaciones

- Comerciales
- Empresariales
- Viviendas
- Estacionamientos
- Hospitales y centros de salud
- Centros de educación
- Penitenciarias Hoteles

OBRAINSA ha ejecutado una infinidad de proyectos dentro de los cuales los que más resaltan son los siguientes:

- Servicios de Gestión y Conservación por Niveles de Servicios del Corredor Vial Emp. PE 04-B (Hualapampa) - Sondor - Huancabamba - Socchabamba – Ayabaca
- Construcción del Componente I: Construcción de la Presa Tronera Sur y Túnel Trasandino del Proyecto Hidroenergético del Alto Piura
- Presa de Relaves Filtrados Yuracyacu y Planta de Filtrado
- Mejoramiento de la Capacidad Resolutiva de los Servicios de Salud del Hospital Regional Hermilio Valdizán de Huánuco, Nivel III-1
- Construcción Y Mejoramiento de la Carretera Tramo: Punta Bombón – Fundación Ilo

- Proyecto de Viviendas Las Casuarinas de Ventanilla
- Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Rodríguez de Mendoza- Empalme PE-5N (La Calzada), Tramo: Selva Alegre – Empalme PE- 5N (La Calzada).

1.4. Contextualización del problema laboral estudiado.

En los diferentes países en el mundo, el enfoque de las áreas de mantenimientos en las organizaciones es examinar y validar de forma idónea las fallas y sus causas en los equipos, con la finalidad de preservar la operatividad continua en el tiempo, incrementándose así la disponibilidad y confiabilidad y descendiendo la mantenibilidad. En más del 50% de los países las empresas ejecutan esta metodología del RCM para solucionar los problemas ocasionados con relación a la disponibilidad. No obstante, aproximadamente se estima un 77% desarrollan un programa de mantenimiento (Mora 2011).

A nivel nacional, empresas mineras en provincias como Arequipa y Pasco evidenciaron en un lapso de tiempo contratiempos en los costos relacionados al mantenimiento y disponibilidad fomentándose una cultura de mantenimiento de talla mundial y en consecuencia incrementar la productividad en los procesos a través de esta metodología. El término disponibilidad comprende el recurso humano, optimización de los procesos y el mantenimiento, sin dejar de un lado el desgaste de los equipos al no tener cuidado correcto al ser usados (RPP, 2018).

A nivel Local, las condiciones de operación en relación con las plantas de equipos móviles evidencian alto nivel de ruido, polvo, humedad, vibraciones, entre otros, además de las fallas de equipos críticos ocasionando en 50% la paralización en las líneas de producción de agregados generalmente por la ausencia de un plan de lubricación de los equipos. Por lo cual,

la producción es incorrecta, aumentan el tiempo de equipos inoperativos y es mayor la demora en la entrega de los productos terminados (agregados).

Es por ello, se plantea la metodología del RCM para revertir un poco lo efectos de esta ausencia de un mantenimiento organizado y con un monitoreo sistematizado.

1.5. Objetivos

Cabe resaltar, el establecimiento de los siguientes objetivos a alcanzar:

- **Objetivo General**

Implementar del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

- **Objetivos Específicos**

- Evaluar los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

- Determinar de qué manera la confiabilidad influye en la disponibilidad en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

- Determinar de qué manera la mantenibilidad influye en la disponibilidad en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

- Analizar el impacto económico del aumento de la disponibilidad en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Mantenimiento

Según la norma de gestión de activos **PAS-55**: “refiere a la agrupación de actividades y prácticas organizadas y sincronizadas por medio de las cuales una organización gestiona de manera idónea su patrimonio, considerando los riesgos y gastos.

García (2010) lo reafirma al catalogar al mantenimiento como un compendio de herramientas y métodos con la finalidad de prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones durante los procesos productivos. Además, menciona el mantenimiento ha evolucionado en el tiempo destacando 4 momentos el correctivo, preventivo, predictivo y el proactivo.

Figura 6

Evolución del Mantenimiento.



Nota. Elaborado en base al autor **García (2010)**.

2.2. Mantenimiento Predictivo.

Cabe destacar, refiere al relacionado a la detección de la falla, en la toma de decisiones fundamentada en el estado actual del equipo para mitigar el deterioro. Adicionalmente, puede considerarse sirve para dar una tendencia al futuro creando escenarios de posibles fallas de un componente de una máquina, a los fines se remedie al establecer un plan. Por tal razón, se minimizan los tiempos muertos del equipo y se alarga la vida útil del componente (**ISO 13372; 2004**).

2.3. Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo.

Se evidencian distintas técnicas ejecutadas para el mantenimiento predictivo destacando las siguientes:

A. Análisis de Vibraciones.

En referencia a este aspecto comprende el reconocimiento de las amplitudes preponderantes de las vibraciones descubiertas en el elemento o máquina. Es por ello, la presencia de estas vibraciones mecánicas se debe al incremento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, entre otros (Fernández, 2005). Entre los tipos de vibraciones tenemos:

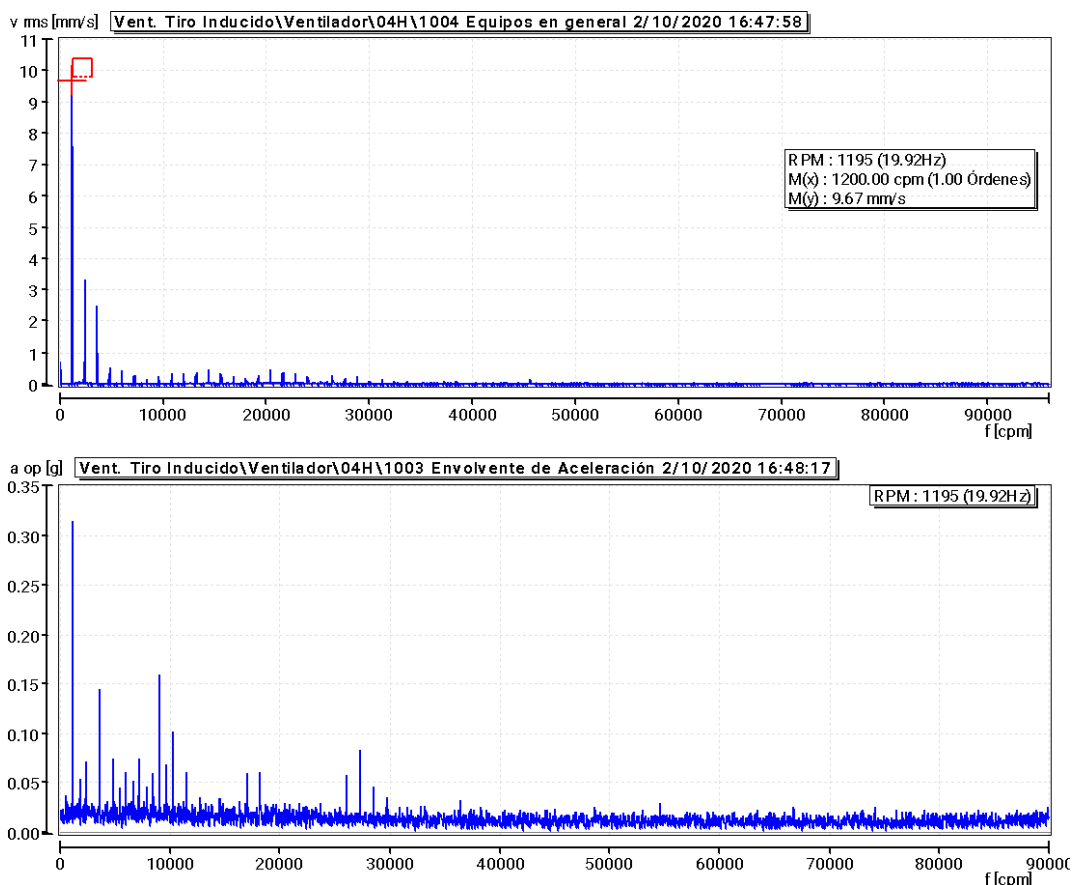
- **Vibración libre:** ocasionada por un sistema que vibra por la estimulación instantánea.
- **Vibración forzada:** generada por un sistema que vibra debido a la estimulación continua por las vibraciones mecánicas.

A continuación, se muestran de manera específica los motivos más que propician en una máquina o elemento llegue a vibrar.

- Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa)
- Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes.
- Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, entre otros).

Figura 7

Espectro FFT y envolvente - equipo colector VibXpert I.



Nota. Espectros de vibración Vibxpert.

El mantenimiento predictivo se fundamenta en el análisis de vibraciones, al interpretar la “manera de vibrar” permitiendo predecir la situación con el apoyo de una base de datos y un análisis de tendencia.

A fin de emplear adecuadamente los valores de vibración obtenidos se emplean diferentes normas, una de ellas es la ISO 10816-3. Esta se emplea para evaluar niveles de vibraciones en máquinas que se encuentran funcionando a velocidades entre 120 y 15 000 rpm y se emplea como referencia hasta obtener tendencias propias del equipo a evaluar.

Sin embargo, para la maquinaria industrial típica, la tabla ISO 10816-3 es un buen punto de referencia para la calidad de la vibración.

Figura 8

Norma ISO 10816-3.

Velocidad de vibración (2 - 1000Hz r > 1200 min ⁻¹)									
	11.00								
	7.10								
	4.50								
	3.50								
	2.80								
	2.30								
	1.40								
	0.71								
	mm/s ms								
Ajuste	Fuerte	Suave	Fuerte	Suave	Fuerte	Suave	Fuerte	Suave	
Tipo de máquina	Bombas > 15 KW radial, axial, diagonal		Máquinas medianas 15 KW < P < 300 KW		Máquinas grandes 300 KW < P < 50 MW				
	Tracción directa		Arbol intermedio / transmisión por correa		Motores 160 mm < H < 315 mm		Motores 315 mm < H		
Grupo	Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		

Nota. Basado en la Norma ISO 10816-3.

B. Análisis de Lubricantes.

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según Fernández (2005):

Análisis Iniciales: se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones de operación

Análisis Rutinarios: aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros

Análisis de Emergencia: se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o Lubricante, según:

- Contaminación con agua
- Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
- Uso de un producto inadecuado

Equipos

- Bombas de extracción
- Envases para muestras
- Etiquetas de identificación
- Formatos

Este método asegura que tendremos:

- Máxima reducción de los costos operativos.
- Máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste.

- Máximo aprovechamiento del lubricante utilizado.
- Mínima generación de efluentes.

En cada muestra podemos conseguir o estudiar los siguientes factores que afectan a nuestra maquina:

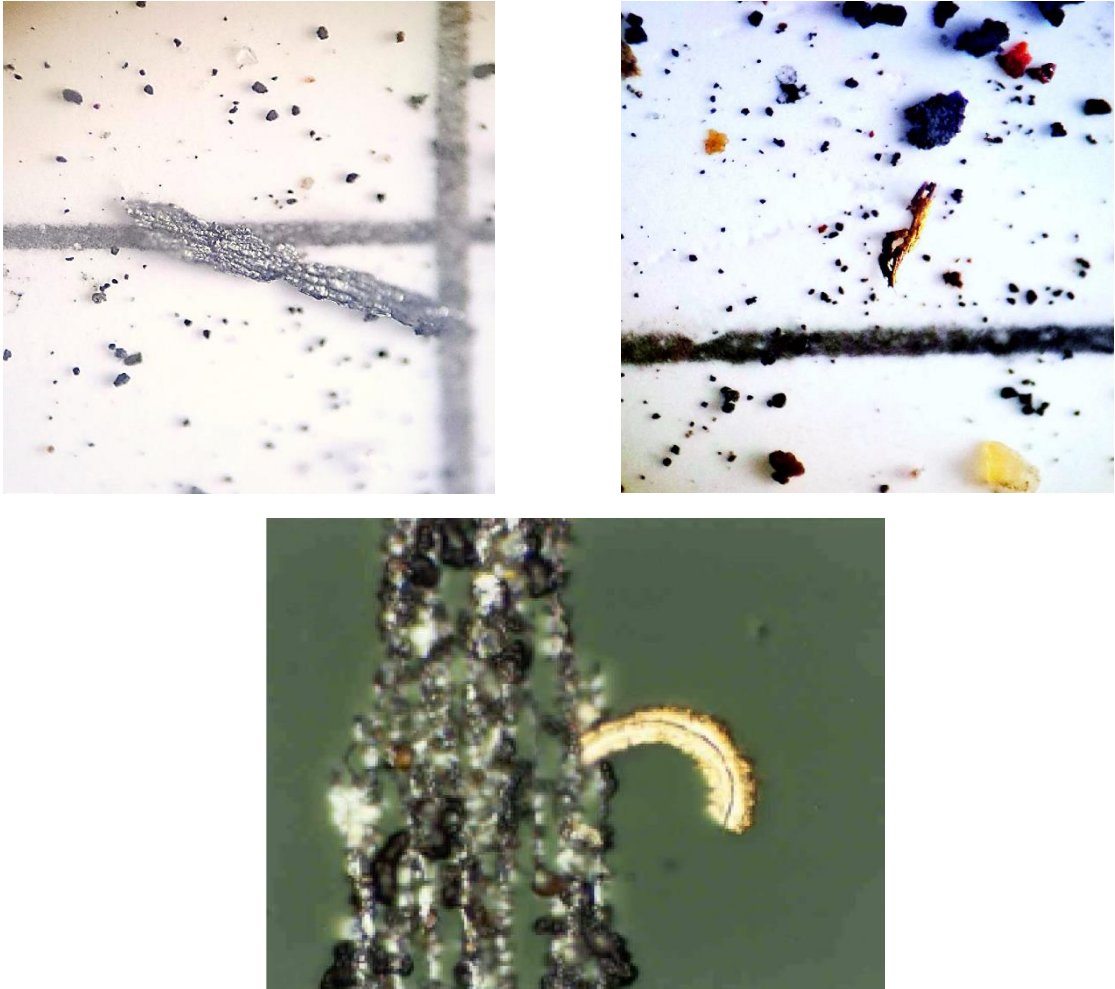
- Elementos de desgaste: Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Cobre, Estaño, Plomo.
- Conteo de partículas: Determinación de la limpieza, Ferrografía.
- Contaminantes: Silicio, Sodio, Agua, Combustible, Hollín, Oxidación, Nitración, Sulfatos, Nitratos.
- Aditivos y condiciones del lubricante: Magnesio, Calcio, Zinc, Fósforo, Boro, Azufre, Viscosidad.
- Gráficos e historial: Para la evaluación de las tendencias a lo largo del tiempo.

De este modo, mediante la implementación de técnicas ampliamente investigadas y experimentadas, y con la utilización de equipos de la más avanzada tecnología, se logrará disminuir drásticamente:

- Tiempo perdido en producción debido a desperfectos mecánicos.
- Desgaste de las máquinas y sus componentes.
- Horas hombre dedicadas al mantenimiento.
- Consumo general de lubricantes.

Figura 9

Ferrografía industrial (Elementos de desgaste).



C. Termografía.

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. Por otro lado, la gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos (Darte, 2006).

El análisis mediante Cámaras Termográfica Infrarrojas, está recomendado para:

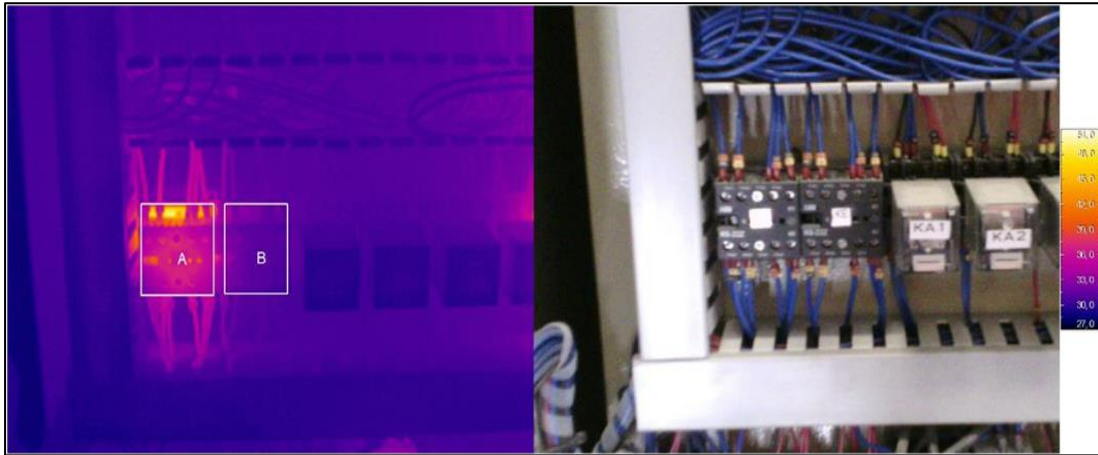
- Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones de climatización.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

Las ventajas que ofrece el Mantenimiento Preventivo por Termografía son:

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la Falla.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

Figura 10

Cámara termográfica Flir T 400.



Nota. Fuente propia.

2.4. Confiabilidad

Según Smith (2011) el mantenimiento centrado en la confiabilidad se define como “Una filosofía de gestión en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar operaciones de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades de mantenimiento más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dichos sistemas.”

Darte (2006) especifica que “La metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es aplicable en equipos y/o sistemas críticos para la producción, seguridad y ambiente, en equipos y/o sistemas con altos costos de mantenimiento, en equipos y/o sistemas genéricos con un alto costo de colectivo de mantenimiento y particularmente, si no existe confianza en el mantenimiento existente.

Ecuación 1. Fallas Totales

$$FALLAS\ TOTALES = SUMA (F1 + F2 + F3 + Fn)$$

Ecuación 2. Tiempo Total de Operaciones

$$TBF = TIEMPO\ ENTRE\ FALLAS$$

$$TTO = SUMA (TBF1 + TBF2 + TBF3 + TBFn)$$

Ecuación 3. Tiempo Medio Entre Fallas

$$MTBF = \frac{TTO}{SUMA(F1 + F2 + Fn)}$$

Ecuación 4. Tiempo Para Restaurar

$$TTR = TIEMPO\ PARA\ RESTAURAR$$

Ecuación 5. Tiempo Medio Para Restaurar

$$MTTRt = \frac{SUMA(TTR1 + TTR2 + TTR3 + FTTRn)}{SUMA(F1 + F2 + F3 + Fn)}$$

Ecuación 6. Relación de Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTRt}$$

MTBF

- Tiempo medio entre fallas (Mean time between failures).
- Indicador de CONFIABILIDAD.

MTTRt

- Tiempo medio para restaurar (Mean time to restore).
- Indicador de eficiencia de mantenibilidad

2.5. Tablas de criticidad de equipos

Figura 11

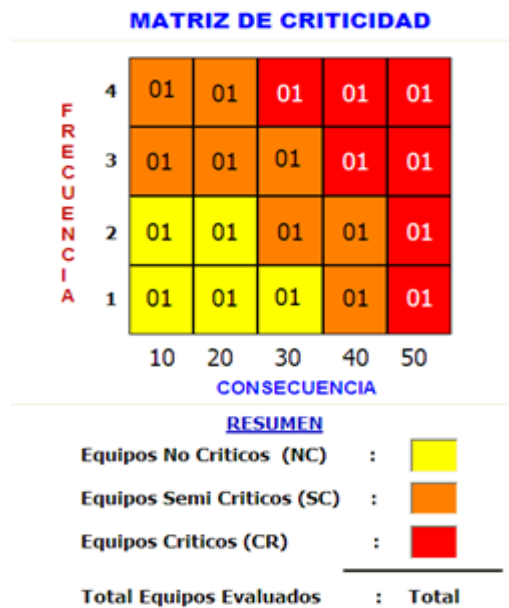
Cartilla de criterios.

CRITERIO PARA LA DETERMINACIÓN DE CRITICIDAD DE SISTEMAS	
Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia	
Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costo Mto. + Impacto SAH)	
Frecuencia de fallas:	
- Parámetro mayor a 4 fallas/año	4
- Promedio 2 - 4 fallas/año	3
- Buena 1 - 2 fallas/año	2
- Excelente menores de 1 falla/año	1
Costo de Mantenimiento	
- Mayor o igual a 5,000\$	2
- Inferior a 5,000 \$	1
Impacto operacional	
- Parada inmediata de toda la Siderúrgica	10
- Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6
- Impacta en niveles de producción o calidad	4
- Repercute en costos operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2
- No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
Impacto en Seguridad Ambiente Higiene	
- Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
- Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
- Afecta las instalaciones causando daños severos	4
- Provoca daños menores (Accidentes e incidentes) personal propio	2
- Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
- No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	0
Flexibilidad Operacional	
- No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4
- Hay opción de repuesto compartido	2
- Función de repuesto disponible	1

Nota. En base a (Darte, 2006).

Figura 12

Matriz de criticidad.



Nota. En base a (Darte, 2006).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En el caso, del bachiller Marvin Mogollón su inicios profesionales data en el 2005, al culminar una etapa como profesional técnico electricista industrial, adquiriendo 8 años de experiencia (2005 – 2013) en servicios técnicos de máquinas y equipos eléctricos de movimientos de cargas, especializado en distintos ámbitos referidos a técnicas de puesta en servicio, mantenimiento preventivo y correctivo, elaboración de planes de mantenimiento de equipos de las mejores marca existentes en el mercado, tales como DEMAG, YALE, R&M, Konecranes, ABUS, Morris, entre otras marcas, en las empresas SYMCO SRL, FESANCO PERU SAC.

Seguidamente, se inició como supervisor de equipos eléctricos en centros de servicios de la empresa LA VIGA SA por 4 años (2013-2017) teniendo la responsabilidad de mantener los equipos disponibles para su uso como puentes grúa, planta de premezclado de concreto, luminarias de los centros de servicios y adicionalmente, monitoreaba los sistemas eléctricos de las unidades de transporte.

Además, en el periodo 2018 hasta la actualidad, se ha desempeñado en el puesto de asistente de plantas industriales en la sede central de la empresa Obras de Ingeniería S.A.C., teniendo la responsabilidad de preparar las plantas de trituración, suelos, asfalto, entre otras en las líneas de mecánica, eléctrica y estructural en taller y enviar en las condiciones para su montaje y puesta en servicio en las obras donde se requieran.

En el caso, del bachiller Christian Bernabé es un profesional con más de 19 años de experiencia, especializándose en distintas áreas técnicas como mantenimiento

predictivo, análisis de vibraciones (Categoría III), ultrasonido propagado en Aire (Nivel I), termografía (Nivel I y II), alineamiento laser, balanceo dinámico en 1 y 2 planos, inspección visual remota. Además, ha sido capacitado para trabajar con las marcas más representativas del mercado (CSI, PRÜFTECHNIK, SKF, Schenck, Fixturlaser, Ultraprobe, Flir, Nec, Olympus, GE), entre otras.

En el año 2001, al culminar la carrera de Técnico en Ing. Mecánica inicia su trayectoria laboral en la empresa Electronic Systems International S.A. (Lima, Perú) con el cargo de Inspector de mantenimiento Predictivo en el cual desempeña actividades de monitoreo de equipos a plantas industriales. En el año 2006, pasa a la empresa SKANSKA del Perú S.A. (Lima, Perú) con el cargo de Inspector de mantenimiento Predictivo. Las actividades de inspección las realiza en campamentos petroleros de la selva peruana.

En el año 2008, empieza a trabajar para la empresa Corporación Aceros Arequipa S.A. (Ica, Perú) con el cargo de Inspector de mantenimiento Predictivo en el área de confiabilidad de equipos. Las actividades de inspección las realiza en las áreas de reducción directa, acería, laminación y productos terminados.

En el año 2010, empieza a trabajar para la empresa ARA Corporación Industrial S.A.C (Lima, Perú) con el cargo de Jefe de Departamento Técnico y de Soporte. Las actividades de inspección las realiza en todo el Perú, supervisando y capacitando personal para las labores de inspecciones. En el año 2011, empieza a trabajar para la empresa Hatch Asociados (Lima, Perú) desempeñando el cargo de Condition Monitoring Engineer, realizaba inspecciones de manera remota a equipos que se encontraban en operaciones fuera del país. En el año 2012, empieza a trabajar para la empresa SOLTRAK S.A(Lima, Perú) con el cargo de Supervisor de Servicios. Las

actividades de inspección las realiza en todo el Perú, supervisando y capacitando personal para las labores de inspecciones.

En el año 2017, empieza a trabajar para la empresa OBRAINSA (Lima, Perú) con el cargo de Ingeniero de Confiabilidad. En esta empresa realiza diferentes actividades de inspección de equipos a las diferentes operaciones en el país.

Actualmente viene realizando asesorías, consultorías, capacitaciones y brindando cursos en instituciones como: TECSUP (Lima, Perú) siendo docente de Monitoreo de Condición y Análisis de Falla y en TECH SENATI (Diplomado /Lima) siendo docente de Termografía y Ultrasonido Acústico.

En principio, en funciones de los objetivos se van a describir los procedimientos realizados.

- **Evaluar los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.**

Primero que nada, se realizó un diagnóstico inicial comprendiendo un seguimiento al desempeño del equipo (cantidad y duración de fallas) durante un lapso de 17 semanas. Adicionalmente, se va realizar un análisis de criticidad para la priorización, estudiándose la distribución de fallas según cantidad, tiempo y costo. Además, no va permitir este último estudio conocer a través de la evaluación de la criticidad por equipos el que estuviera en la posición más crítica.

Para evaluación de los indicadores de Disponibilidad, MTBF y MTTR se usarán las ecuaciones de la 1 a la 7.

- **Determinar de qué manera la confiabilidad influye en la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.**
- **Determinar de qué manera la mantenibilidad influye en la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.**

En el caso de estos 2 objetivos se vio la relación o influencia de las dimensiones de la variable RCM (disponibilidad y mantenibilidad) a través del coeficiente de Pearson, siendo un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente.

- **Analizar el impacto económico del aumento de la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.**

Este último objetivo, se realizó al ver la cantidad de fallas antes de la implementación y luego de esta al disminuir con la aplicación del RCM y asumiendo eso en términos de costos y dinero.

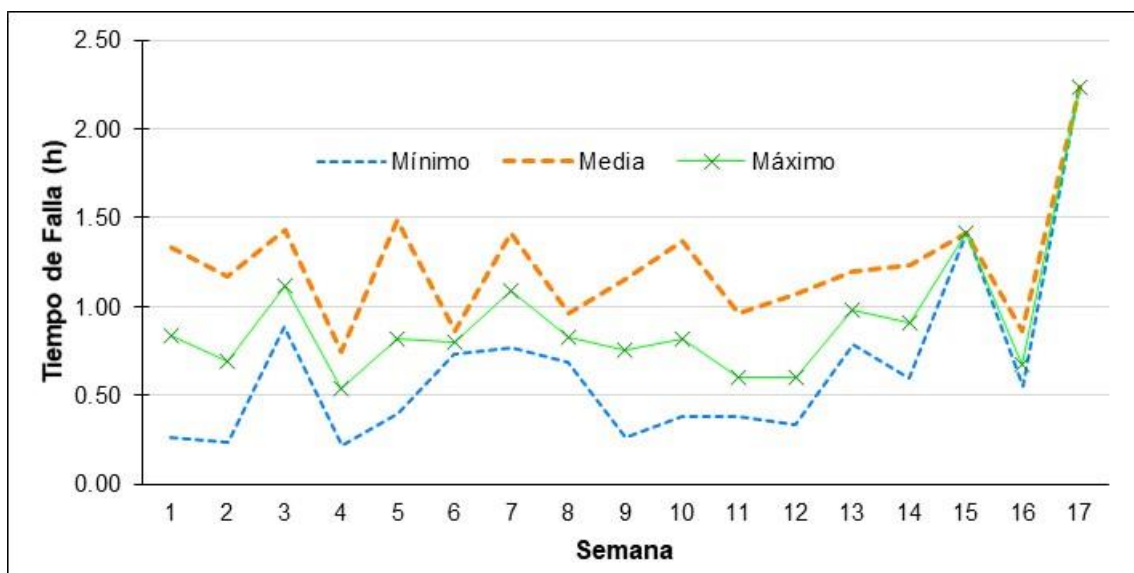
CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico Inicial

Previo a la implementación del RCM, se hizo un seguimiento al desempeño del equipo (cantidad y duración de fallas) durante un lapso de 17 semanas, esta información es mostrada en la Tabla 1 y la Figura 13. En cuanto a la cantidad de fallas, el máximo reportado es de 4 y se produjo en las semanas 2, 9, 12, 13, 14 y 16; por otra parte, el mínimo reportado es 1 y se presenta en las semanas 15 y 17. Para la duración de fallas, el mínimo reportado es de 1.42 h (1 falla) durante la semana 15 y el máximo corresponde a la semana 13, con 4 fallas que totalizan 3.93 horas.

Figura 13

Distribución semanal tiempo de fallas (mínimo, media y máximo).



Nota. Representa los valores tiempos de falla (h) por semana.

Tabla 1

Resumen semanal de duración de fallas.

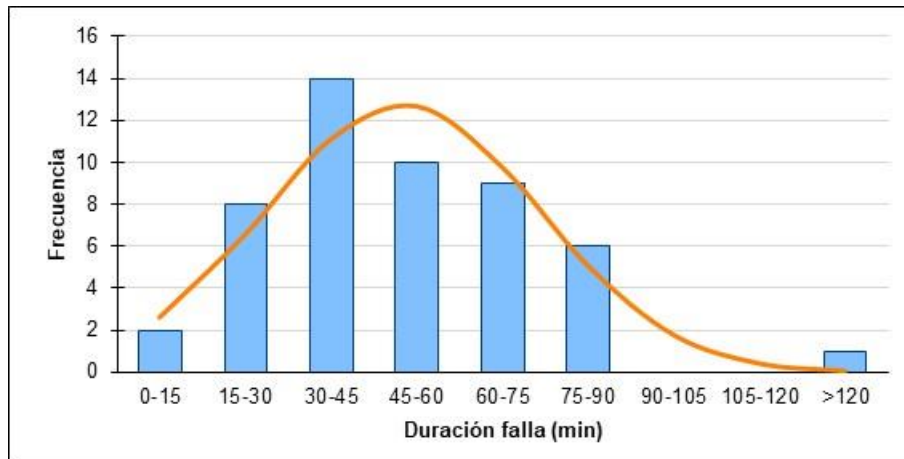
Semana	Cant Fallas	Duración Fallas (h)	Mín (h)	Máx (h)	Media (h)
1	3	2.50	0.27	1.33	0.83
2	4	2.77	0.23	1.17	0.69
3	3	3.33	0.88	1.43	1.11
4	3	1.62	0.22	0.75	0.54
5	3	2.45	0.40	1.48	0.82
6	2	1.60	0.73	0.87	0.80
7	2	2.18	0.77	1.42	1.09
8	2	1.65	0.68	0.97	0.82
9	4	3.02	0.27	1.15	0.75
10	3	2.45	0.38	1.37	0.82
11	3	1.80	0.38	0.97	0.60
12	4	2.40	0.33	1.07	0.60
13	4	3.93	0.78	1.20	0.98
14	4	3.65	0.60	1.23	0.91
15	1	1.42	1.42	1.42	1.42
16	4	2.70	0.55	0.87	0.67
17	1	2.23	2.23	2.23	2.23

Nota. Representa el tiempo de duración de falla (h) por semana.

La distribución de frecuencias de la duración de fallas se muestra en la Figura 14. El tiempo promedio de falla es de 50.04 minutos, con una desviación estándar de 23.92 minutos. La clase modal es la de 30 a 45 minutos, con una frecuencia de 14 casos, seguida por la categoría de 45 a 60 minutos, con una frecuencia de 10 casos.

Figura 14

Histograma de frecuencias para tiempo de duración de fallas.



Nota. Representa el tiempo de duración de falla (h) por semana.

4.2. Análisis de criticidad

A fin de establecer un criterio para la priorización, se analizó la distribución de fallas según cantidad, tiempo y costo, los resultados se encuentran en la Tabla 2 y la Figura 15. Durante el periodo de diagnóstico, se registró un total de 50 fallas, de las cuales 20 de ellas (40%) corresponden al motor, seguido por las 13 fallas (26%) registradas del triturador; el equipo que menos fallas reporta es la cabina de control, con 3 eventos (6%) registrados. Analizando el tiempo total de fallas, de las 41.70 horas registradas, 15.38 horas (36.89%) corresponden al motor, mientras que 11.78 horas (28.26%) corresponden al triturador, el equipo con menor tiempo de fallas registrado es la bomba de lubricación, con 3.70 horas (8.87%) registradas. Para el costo de mantenimiento, el sistema con mayor costo asociado es el motor, con 21,347.41 (36.43%), seguido por el triturador (17,456.66 que equivale a 29.79%); el sistema con menor costo de mantenimiento registrado para el periodo es la cabina de control, con un monto de 1,907.72 soles.

Tabla 2

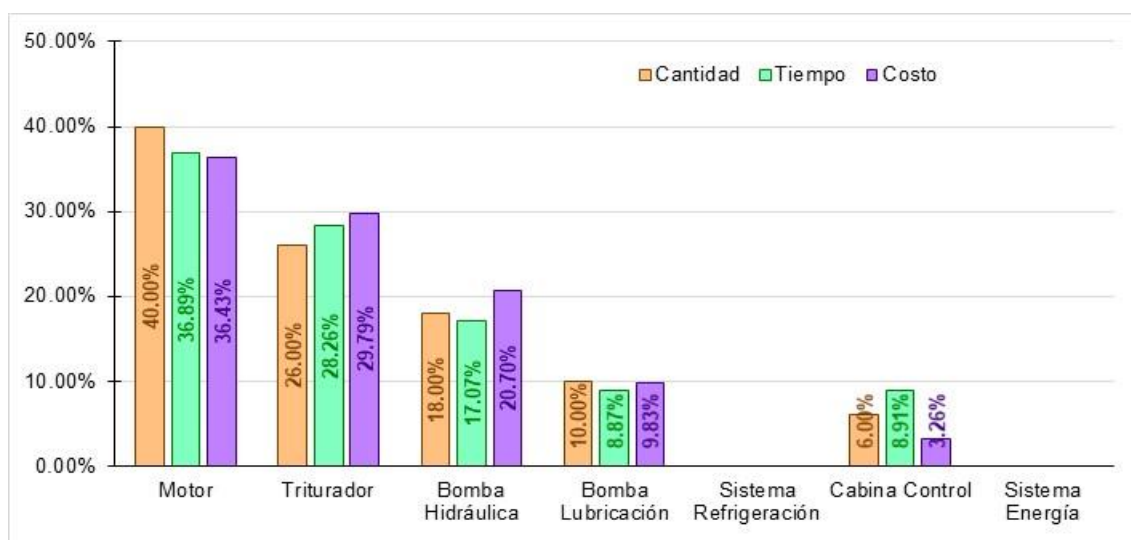
Distribución de fallas por equipo involucrado.

Equipo	Cantidad	Tiempo Fallas		Costo Mantto	
Involucrado	Fallas	Total	Promedio	Total	Promedio
Motor	20	15.38	0.77	21,347.41	1,067.37
Triturador	13	11.78	0.91	17,456.66	1,342.82
Bomba Hidráulica	9	7.12	0.79	12,130.98	1,347.89
Bomba Lubricación	5	3.70	0.74	5,757.52	1,151.50
Sistema Refrigeración	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Cabina Control	3	3.72	1.24	1,907.72	635.91
Sistema Energía	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	50	41.70	0.83	58,600.29	1,172.01

Nota. Expresa la cantidad de fallas, el tiempo y su costo para ver su presencia por equipo involucrado.

Figura 15

Distribución de fallas por equipo involucrado.



Nota. Expresa la cantidad de fallas, el tiempo y su costo para ver su presencia por equipo involucrado.

En base a la información obtenida en la Tabla 2, se estableció una ponderación donde se le asigna 5 puntos al equipo con mayor valor en el criterio (cantidad, tiempo o costo), luego 4 al siguiente y así sucesivamente; el número de prioridad lo da la suma de los tres factores. En base a este sistema, se realizó la evaluación, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3; del resultado de la evaluación, se obtiene que los tres componentes críticos en los que se hará foco son el motor, el triturador y la bomba hidráulica.

Tabla 3

Evaluación criticidad equipos.

Equipo	Cantidad	Tiempo Fallas	Costo Mantto	Puntaje Total
Motor	5	5	5	15
Triturador	4	4	4	12
Bomba Hidráulica	3	3	3	9
Bomba Lubricación	2	1	2	5
Sistema Refrigeración	0	0	0	0
Cabina Control	1	2	1	4
Sistema Energía	0	0	0	0

Nota. Expresa la cantidad de fallas, el tiempo y su costo para evaluar la criticidad por equipos.

4.3. Evaluar los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

4.3.1. Disponibilidad

El resumen de las principales medidas estadísticas para la variable disponibilidad se muestra en la Tabla 4 y la Figura 16. En la etapa previa a la implementación, se reporta un promedio de 96.25%, con valores que oscilan entre 94.04% (semana 13) y 97.85% (semana 15). Analizando los valores extremos, se observa que para la semana 13 se reportan 3 fallas con una duración total de 3.93 horas, lo que constituye el mayor valor semanal, mientras que en la semana 15 se reporta 1 falla con una duración de 1.42 horas, siendo el menor valor semanal; puesto que la disponibilidad es inversamente proporcional al tiempo de duración de las fallas, es lógico que el mayor valor de disponibilidad se reporte en la semana con menor tiempo de falla y viceversa.

Tabla 4

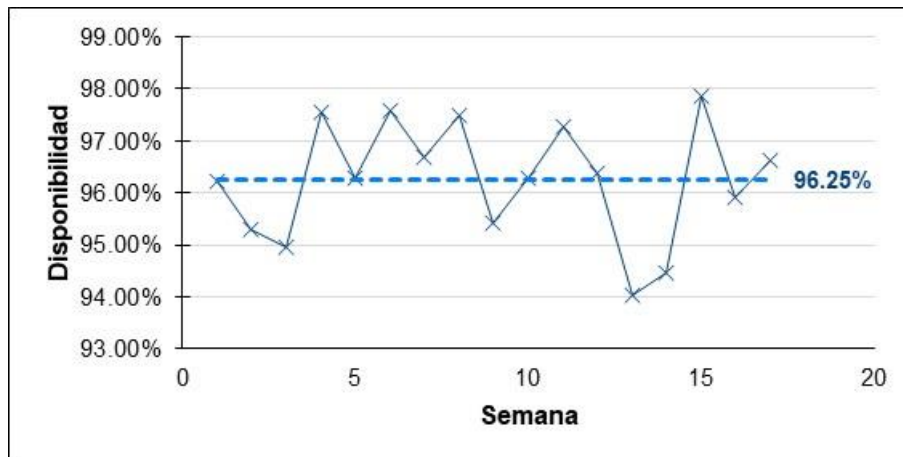
Resumen semanal de disponibilidad

Semana	Disp	Semana	Disp
1	96.21%	13	94.04%
2	95.30%	14	94.47%
3	94.95%	15	97.85%
4	97.55%	16	95.91%
5	96.29%	17	96.62%
6	97.58%	Mínimo	94.04%
7	96.69%	Máximo	97.85%
8	97.50%	Promedio	96.25%
9	95.43%	Desv Est	1.13%
10	96.29%		
11	97.27%		
12	96.36%		

Nota. A mayor disponibilidad, mayor tiempo de funcionamiento del equipo

Figura 16

Distribución semanal disponibilidad.



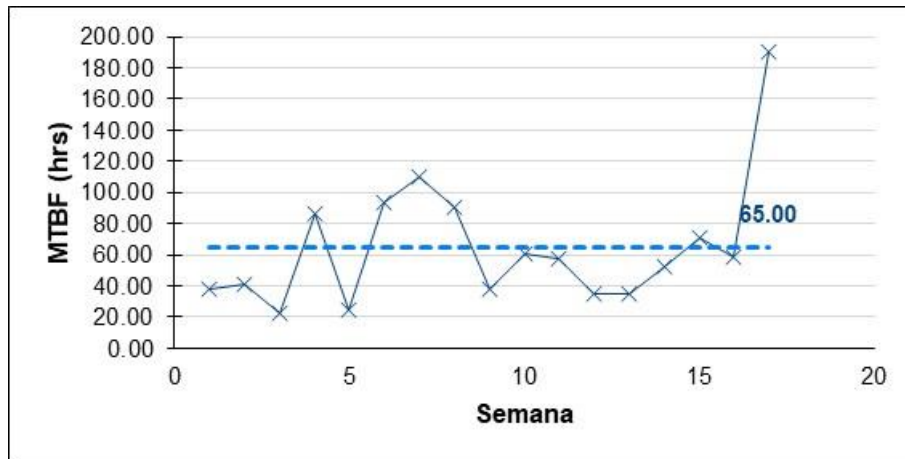
Nota. La línea punteada representa el promedio del periodo.

4.3.2. Confiabilidad (MTBF)

La distribución semanal de los valores de confiabilidad, medida a través del MTBF, se muestran en la Tabla 5 y la Figura 17. Se reporta que, durante el periodo previo a la implementación, la media semanal es de 65.00 horas, con un rango que oscila entre las 22.52 horas (semana 3) y las 190.40 horas (semana 17). Analizando los valores extremos reportados, el máximo valor del indicador se produce en la semana 17; en esta semana sólo se tiene una falla reportada, el día 30-04, antes de este evento, la falla anterior se produjo el 22-04, es decir, transcurrieron 8 días (190 horas) entre ambos eventos, al ser este periodo entre eventos el mayor registrado, es lógico que se produzca el máximo valor de confiabilidad; adicionalmente, este valor se produce en la última semana del periodo previo a la implementación, por lo que ya habían algunas actividades corregidas o en curso, lo cual permite percibir este cambio en los indicadores.

Figura 17

Distribución semanal confiabilidad (MTBF).



Nota. La línea punteada representa el promedio del periodo.

Tabla 5

Resumen semanal de confiabilidad (MTBF).

Semana	MTBF (h)	Semana	MTBF (h)
1	38.34	13	35.28
2	40.75	14	52.49
3	22.52	15	70.48
4	86.41	16	58.54
5	24.79	17	190.40
6	93.07	Mínimo	22.52
7	110.27	Máximo	190.40
8	90.80	Promedio	65.00
9	37.65	Desv Est	41.25
10	60.31		
11	57.71		
12	35.20		

Nota. Una mayor confiabilidad significa una menor probabilidad de falla.

4.3.3. Mantenibilidad (MTTR)

Los resultados semanales para la mantenibilidad (medida a través del MTTR) se muestran en la Tabla 6 y la Figura 18. El valor medio de este parámetro tiene un valor de 0.93 horas, oscilando entre un rango de 0.54 h (semana 4) y 2.23 h (semana 17). Analizando los valores extremos reportados, el máximo valor de MTTR se da en la semana donde se da el mayor tiempo promedio de falla (se produce una sola falla, con una duración total de 2.23 horas), mientras que el menor valor se produce en la semana donde se tiene el menor tiempo promedio de falla (3 fallas con una duración total de 1.62 horas, que equivale a un promedio de 0.54 horas).

Tabla 6

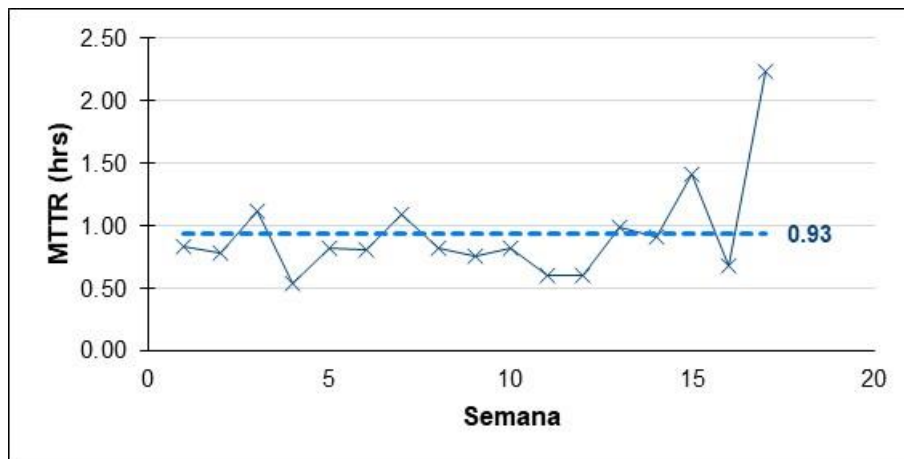
Resumen semanal de mantenibilidad (MTTR).

Semana	MTTR (h)	Semana	MTTR (h)
1	0.83	13	0.98
2	0.69	14	0.91
3	1.11	15	1.42
4	0.54	16	0.67
5	0.82	17	2.23
6	0.80	Mínimo	0.54
7	1.09	Máximo	2.23
8	0.82	Promedio	0.92
9	0.75	Desv Est	0.40
10	0.82		
11	0.60		
12	0.60		

Nota. Una menor mantenibilidad significa un mayor tiempo operativo.

Figura 18

Distribución semanal mantenibilidad (MTTR).



Nota. La línea punteada representa el promedio del periodo.

4.4. Comprobación de objetivos

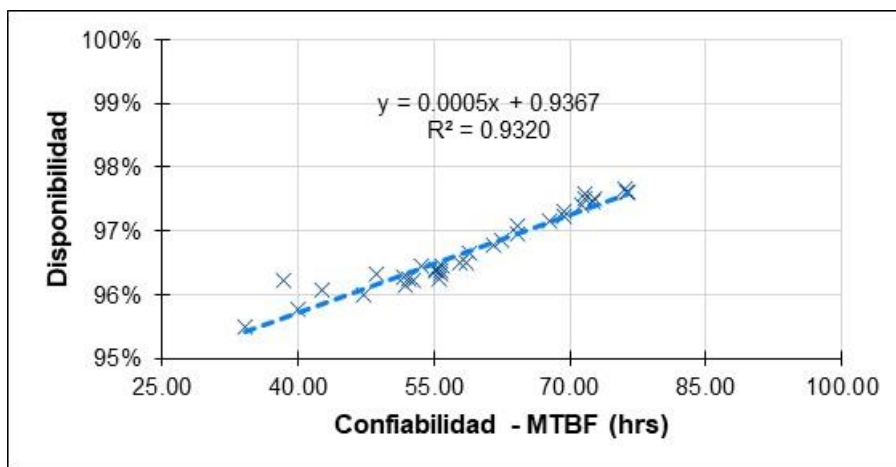
Objetivo Específico 1: Determinar de qué manera la confiabilidad influye en la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

La representación gráfica de la relación entre la confiabilidad (medida a través del MTBF) y la disponibilidad se muestra en la Figura 19. El coeficiente de correlación de Pearson entre ambas variables tiene un valor de 0.9654, lo que significa que la relación es positiva y muy fuerte; adicionalmente, el coeficiente de determinación tiene un valor de 0.9320, lo que significa que el modelo es capaz de explicar el 93.20% de la incertidumbre de los datos. A fin de comprobar la idoneidad del modelo, se realiza un análisis de varianza, cuyos resultados se muestran en la Tabla 7; se reporta que el valor F es de 452.2079, lo que significa que la variación explicada por el modelo es más de 400 veces mayor que la

variabilidad aleatoria; el p-valor o asociado al estadístico F es menor al valor límite de significancia, por lo que puede afirmarse que existe un grado de asociación o influencia estadísticamente significativo entre la confiabilidad y la disponibilidad en plantas móviles- Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

Figura 19

Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 1.



Nota. Entre más cercano a 1 sea el valor de R^2 , mejor es el ajuste.

Tabla 7

Análisis de varianza para Objetivo Específico 1

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Regresión	1	0.0011	0.0011	452.2079	7.79E-21
Residuos	33	0.0001	2.52E-06		
Total	34	0.0012			

Nota. para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

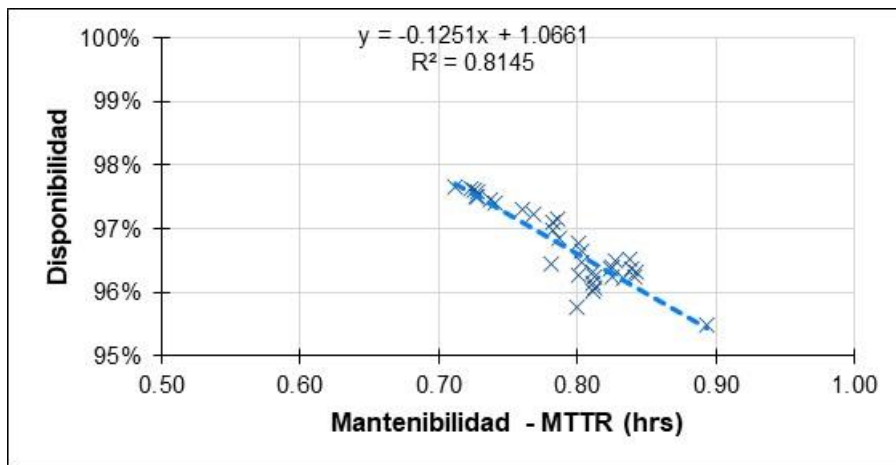
Objetivo Específico 2: Determinar de qué manera la mantenibilidad (MTTR) influye en la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

La relación entre mantenibilidad (medida a través del MTTR) y disponibilidad se representa de manera gráfica en la Figura 20. Analizando la correlación entre las variables, se reporta que el coeficiente de correlación de Pearson tiene un valor de 0.9025, lo cual significa que ambas magnitudes tienen un grado de asociación positiva y fuerte, es decir, a medida que una de las variables se modifica, la respuesta de la otra variable es modificarse en la misma dirección. El coeficiente de determinación tiene un valor de 0.8145, lo que significa que el modelo es capaz de explicar el 81.45% de la incertidumbre de los datos.

Para determinar si este modelo es estadísticamente significativo, se realiza un análisis de varianza, cuyos resultados se muestran en la Tabla 8. Se observa que el estadístico F tiene un valor de 144.88, lo cual significa que la variación sistemática (explicable por el modelo) es más de 100 veces superior a la variabilidad aleatoria; la significancia de este valor es inferior al umbral preestablecido, por lo que se puede afirmar con un 95% de certeza estadística que existe una relación estadísticamente significativa entre la mantenibilidad y disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

Figura 20

Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 2.



Nota. Entre más cercano a 1 sea el valor de R^2 , mejor es el ajuste.

Tabla 8.

Análisis de varianza para Objetivo Específico 2.

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Regresión	1	0.0010	0.0010	144.8848	1.29E-13
Residuos	33	0.0002	6.87E-06		
Total	34	0.0012			

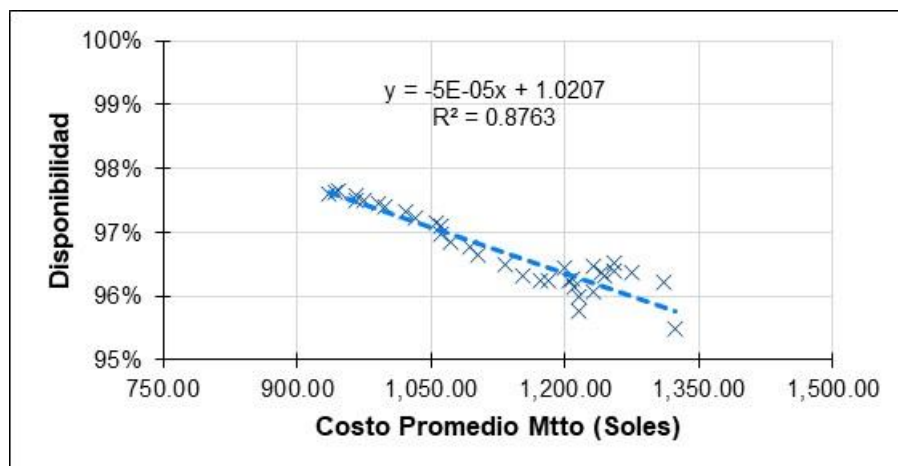
Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Objetivo Específico 3: Analizar el impacto económico del aumento de la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

Se desarrolló un modelo lineal para relacionar ambas variables, la representación gráfica del modelo se muestra en la Figura 21. El coeficiente de correlación de Pearson para el modelo desarrollado tiene un valor de 0.9361, esto significa que las dos variables tienen una relación lineal positiva y fuerte; analizando el valor del coeficiente de determinación, se reporta que este parámetro tiene un valor de 0.8763, lo cual significa que el modelo desarrollado tiene la capacidad de explicar el comportamiento del 87.63% de los datos suministrados.

Figura 21

Diagrama de dispersión para Objetivo Específico 3.



Nota Entre más cercano a 1 sea el valor de R^2 , mejor es el ajuste.

A fin de determinar si el modelo desarrollado es idóneo, es decir, si la proporción de variación sistemática es superior a la cantidad de variación aleatoria existente, se desarrolló un análisis de varianza, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9. Analizando los resultados, se reporta que el estadístico F tiene un valor de 233.7528, lo que significa que la variación sistemática es más de 200 veces superior a la variabilidad aleatoria; el p-valor de la prueba es inferior a 0.05, por lo que se concluye que existe una relación estadísticamente significativa entre el costo de mantenimiento y disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022.

Tabla 9

Análisis de varianza para Objetivo Específico 3.

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Regresión	1	0.0011	0.0011	233.7528	1.55E-16
Residuos	33	0.0002	4.58E-06		
Total	34	0.0012			

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

4.5. Cuantificación de las mejoras

4.5.1. Resumen mejoras obtenidas

El resumen de las mejoras obtenidas con la implementación de mejoras relacionadas con RCM se muestra en la Tabla 10. Analizando los datos reportados, se observa que se logró una disminución del 48% en la aparición de fallas, una disminución del 68.55% en el tiempo de duración de los eventos no deseados, así como una disminución en los costos de mantenimiento de 59.06%. Respecto a los indicadores asociados a la gestión de mantenimiento, gracias a la implementación de las mejoras, se obtuvo un incremento de la confiabilidad (medida a través del MTBF) del 72.32%, así como un incremento de la disponibilidad de 2.71%, finalmente, se reporta una disminución de la mantenibilidad (medida a través del MTTR) del 51.78%

Tabla 10.

Resultados de mejoras implementadas.

Parámetro	Antes	Después	Variación
Cantidad Fallas	50	26	▼48.00%
Duración	41.7	13.12	▼68.55%
Costo	1,172.01	479.87	▼59.06%
MTBF	65.01	112.02	▲72.32%
MTTR	0.92	0.45	▼51.78%
Disponibilidad	96.28%	98.90%	▲2.71%

Nota: Las cifras en rojo corresponden a disminuciones, las azules a aumentos.

4.5.2. Mejoras en los indicadores.

4.5.2.1. Cantidad de Fallas

La Figura 22 muestra la evolución semanal del número de fallas; el promedio de eventos no deseados para el periodo previo a la implementación es de 2.94 por semana, mientras que, para el periodo posterior, el promedio disminuye a 1.44 eventos por semana. A fin de determinar si esta diferencia es significativa, se realizó una prueba t Student para diferencia de medias, cuyos resultados se reportan en la Tabla 11; del análisis de la tabla, se observa que el parámetro t tiene un valor de 4.9924 y 28 grados de libertad, la significancia asociada a este valor ($1.42 \cdot 10^{-5}$) está por debajo del umbral de aceptación (0.05), razón por la cual se concluye que la diferencia entre ambos periodos es significativa.

Tabla 11.

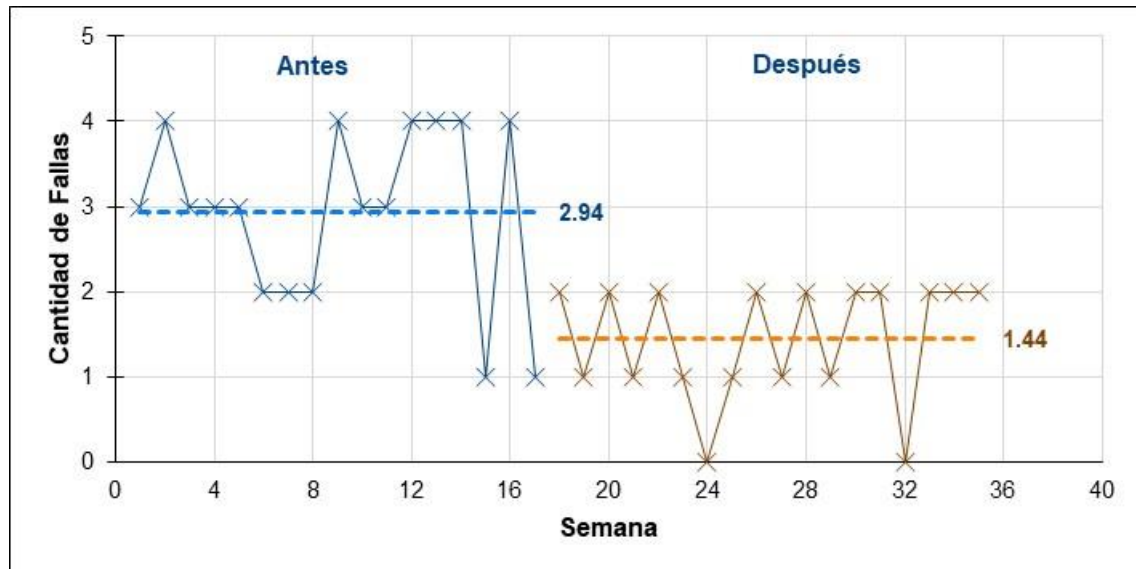
Prueba de diferencia de medias para la cantidad de fallas.

Parámetro	Antes	Después
Media	2.9412	1.4444
Varianza	1.0588	0.4967
Observaciones	17	18
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	28	
Estadístico t	4.9924	
P(T<=t) una cola	1.42E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.7011	

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Figura 22

Evolución semanal de la confiabilidad (MTBF).



Nota. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de cada periodo.

4.5.2.2. Confiabilidad (MTBF)

La Figura 23 muestra la evolución semanal del tiempo promedio entre fallas (MTBF); el promedio para el periodo previo a la implementación es de 65.0060 horas a la semana, mientras que, para el periodo posterior, el promedio se incrementa y llega a 112.0171 horas por semana. A fin de determinar si esta diferencia es significativa, se realizó una prueba t Student para diferencia de medias, cuyos resultados se reportan en la Tabla 12; del análisis de la tabla, se observa que el parámetro t tiene un valor de -2.3399 y 27 grados de libertad, la significancia (0.0135) asociada a este valor está por debajo del umbral de aceptación (0.05), razón por la cual se concluye que la diferencia entre ambos periodos es significativa.

Tabla 12.

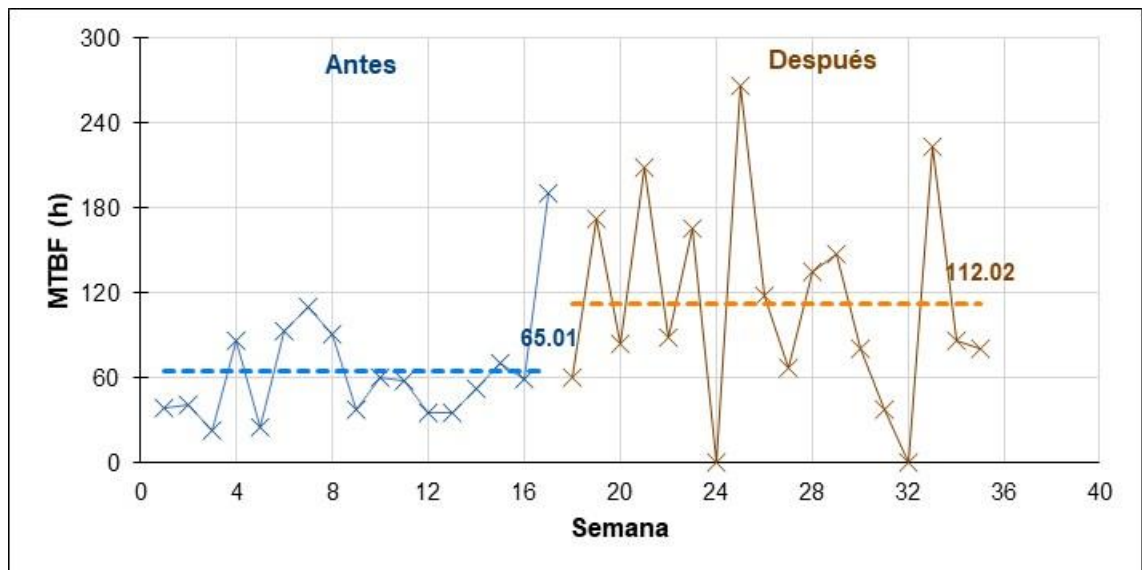
Prueba de diferencia de medias para MTBF.

Parámetro	Antes	Después
Media	65.0060	112.0171
Varianza	1701.6112	5463.8239
Observaciones	17	18
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	27	
Estadístico t	-2.3399	
P(T<=t) una cola	0.0135	
Valor crítico de t (una cola)	1.7033	

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Figura 23

Evolución semanal de la confiabilidad (MTBF).



Nota. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de cada periodo.

4.5.2.3. Mantenibilidad (MTTR)

La Figura 24 muestra la evolución semanal del tiempo promedio para reparar (MTTR); el promedio para el periodo previo a la implementación es de 0.9235, mientras que, para el periodo posterior, el promedio disminuye y se sitúa en 0.4454 horas. A fin de determinar si esta diferencia es significativa, se realizó una prueba t Student para diferencia de medias, cuyos resultados se reportan en la Tabla 13; del análisis de la tabla, se observa que el parámetro t tiene un valor de 3.7119 y 27 grados de libertad, la significancia (0.0004) asociada a este valor está por debajo del umbral de aceptación (0.05), razón por la cual se concluye que la diferencia entre ambos periodos es significativa.

Tabla 13

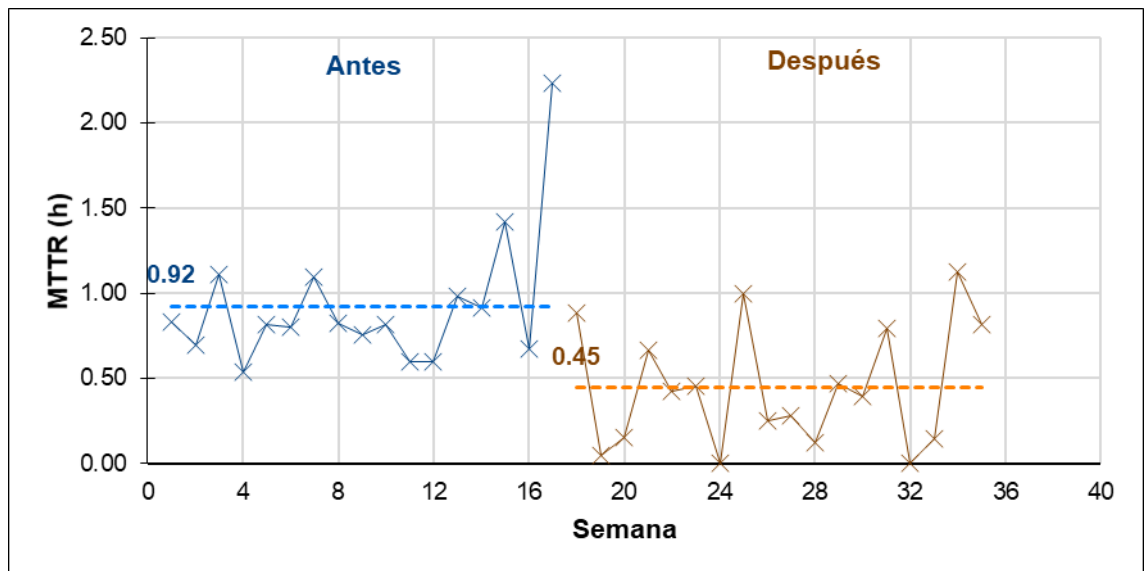
Prueba de diferencia de medias para MTTR

Parámetro	Antes	Después
Media	0.9235	0.4454
Varianza	0.1615	0.1277
Observaciones	17	18
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	32	
Estadístico t	3.7119	
P(T<=t) una cola	0.0004	
Valor crítico de t (una cola)	1.6939	

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Figura 24

Evolución semanal de la mantenibilidad (MTTR).



Nota. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de cada periodo.

4.5.2.4. Disponibilidad

La Figura 25 muestra la evolución semanal del factor de disponibilidad; el promedio para el periodo previo a la implementación es de 96.28%, mientras que, para el periodo posterior, el promedio se incrementa y alcanza un valor de 98.90%. A fin de determinar si esta diferencia es significativa, se realizó una prueba t Student para diferencia de medias, cuyos resultados se reportan en la Tabla 14; del análisis de la tabla, se observa que el parámetro t tiene un valor de -7.2699 y 32 grados de libertad, la significancia ($01.46 \cdot 10^{-8}$) asociada a este valor está por debajo del umbral de aceptación (0.05), razón por la cual se concluye que la diferencia entre ambos periodos es significativa.

Tabla 14.

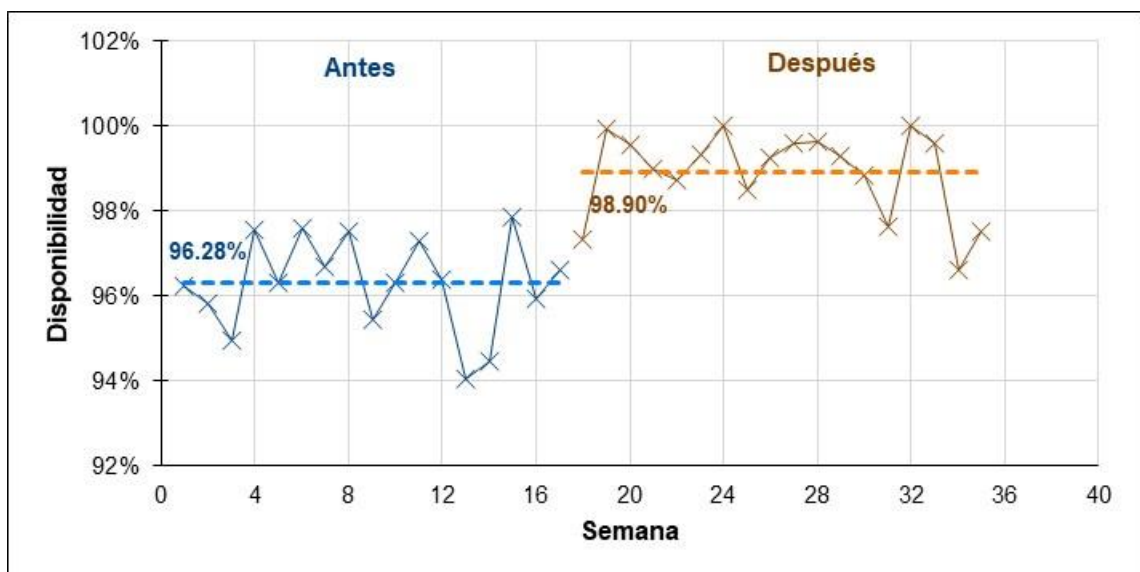
Prueba de diferencia de medias para disponibilidad.

Parámetro	Antes	Después
Media	0.9628	0.9890
Varianza	0.0001	0.0001
Observaciones	17	18
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	32	
Estadístico t	-7.2699	
P(T<=t) una cola	1.46E-08	
Valor crítico de t (una cola)	1.6939	

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Figura 25

Evolución semanal de la disponibilidad.



Nota. Las líneas punteadas representan los promedios para cada periodo

4.5.2.5. Costo de Mantenimiento

La Figura 26 muestra la evolución semanal del costo promedio por semana; el promedio para el periodo previo a la implementación es de 1,172.01, mientras que, para el periodo posterior, el promedio se incrementa y alcanza un valor de 479.87. A fin de determinar si esta diferencia es significativa, se realizó una prueba t Student para diferencia de medias, cuyos resultados se reportan en la Tabla 15; del análisis de la tabla, se observa que el parámetro t tiene un valor de 9.1988 y 33 grados de libertad, la significancia ($6.28 \cdot 10^{-11}$) asociada a este valor está por debajo del umbral de aceptación (0.05), razón por la cual se concluye que la diferencia entre ambos periodos es significativa.

Tabla 15

Prueba de diferencia de medias para costo de mantenimiento.

Parámetro	Antes	Después
Media	1159.9000	428.3706
Varianza	54168.0649	56479.8356
Observaciones	17	18
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	33	
Estadístico t	9.1988	
P(T<=t) una cola	6.2778E-11	
Valor crítico de t (una cola)	1.6924	

Nota. Para todos los cálculos, se reportarán valores con 4 cifras decimales, para valores menores a 0.0001, se utilizará notación científica.

Figura 26

“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN PLANTAS MOVILES – UNIDAD DE NEGOCIOS DE EQUIPOS (UNE) OBRAS DE INGENIERIA SAC EN EL AÑO 2021”

Evolución semanal del costo de mantenimiento.



Nota. Las líneas punteadas representan los promedios para cada período

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los datos analizados, se puede concluir que:

- a) Existe un grado de asociación o influencia estadísticamente significativo ($R = 0.9654$, $p < 0.05$) entre la confiabilidad (medida a través del MTBF) y la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022; es decir, para garantizar altos niveles de disponibilidad, las acciones implementadas deben permitir la reducción de la cantidad de eventos no deseados y por tanto, el incremento del tiempo operativo del equipo.
- b) Existe una relación estadísticamente significativa ($R = 0.9025$, $p < 0.05$) entre la mantenibilidad (medida a través del MTTR) y la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022; este hallazgo permite concluir que, para lograr niveles de disponibilidad que garanticen la continuidad de las operaciones, las actividades de mantenimiento deben estar organizadas de manera que permitan regresar al equipo intervenido a su condición de operatividad en el menor tiempo posible.
- c) Existe una correlación ($R = 0.9361$) estadísticamente significativa entre el costo de mantenimiento y la disponibilidad en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022. Las dos consecuencias inmediatas de la disminución tanto en el número de fallas como en la duración de las mismas (producto de la implementación de RCM), es la disminución de los costos asociados a mantenimiento (y a las pérdidas por parada de planta) y un incremento del tiempo

operativo, es por esta razón que la implementación de RCM permite ahorros significativos.

- d) La implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en plantas móviles-Unidad de negocios de equipos (UNE) obras de ingeniería SAC en el año 2022 permitió un incremento significativo ($p < 0.05$) de la confiabilidad (MTBF) y disponibilidad, así como una disminución significativa ($p < 0.05$) de la mantenibilidad (MTTR) y el costo promedio de mantenimiento.

5.2. Recomendaciones

- a) Elevar el nivel de competencia del personal operativo (producción y mantenimiento) brindando capacitaciones en temas relacionados a RCM, para de este modo generar una toma de conciencia de la importancia de la filosofía y sus beneficios para todas las áreas.
- b) Realizar reuniones periódicas con el personal para mostrarles el avance de la implementación y los logros obtenidos, para de esta manera generar compromiso y que perciban que sus esfuerzos están dando resultados.
- c) Desarrollar sesiones de trabajo donde las próximas metas y/o proyectos de mejora sean realizados tomando en consideración la opinión de los trabajadores, quienes día a día están en contacto con los equipos.
- d) Ampliar el alcance de la implementación de RCM a todos los equipos de la organización.

REFERENCIAS

Erol, I., & Ferrel, j. (2003). Methology for selection problems with multiple, conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria. International journal of Production Economics.

<https://ideas.repec.org/a/eee/proeco/v86y2003i3p187-199.html>

AZIMA DLI. (1990-2010) Introducción al análisis de vibraciones. United States of America: Azima DLI.

A-MAQ S.A. (2005) Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico.

https://mantenimientoplanificado.com/art%20adculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf

PRÜFTECHNIK. (2010) an engineer’s guide to shaft alignment, *vibration analysis and dynamic balancing*. Seven the ed. Germany.

https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/190/be5/Pruftechnik-Engineers-Guide-2017.pdf

PARESH, Girdhar. (2004) *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. United States of America.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Practical-Machinery-Vibration-Analysis-and-Girdhar/c9bf698aa5423935911774777adb858116924320>

Aguillón, P. R. (2004). *Tribología y lubricación industrial y automotriz*. (4a. Ed.).

Medellín, Colombia.

Garrido, S. G. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid,

España: Diaz de Santos.

<https://1library.co/document/qoor03kq-organizacion-y-gestion-integral-de-mantenimiento.html>

Infrared Training Center. (2017). *Manual para el curso de Termografía Nivel 1* (Rev.

1.1 ed.). (ITC, Ed.) Estocolmo, Suecia.

Allied Reliability Group. (2013). *PdM Secrets Revealed* (6ta. ed.). Charlestone, South

Carolina, Estados Unidos.

1 Moubray, J. (1991). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, RCM II. Ashville,

North Carolina, Estados Unidos: Aladon LLC.

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2277/DESARROLLO%20DEL%20PLAN%20DE%20MANTENIMIENTO%20GENERAL%20DE%20LOS%20SUBSISTEMAS%20%20DE%20LA%20EXCAVADORA%20KATO%20HD820R%20CON%20BASE%20EN%20LA%20METODOLOG%3%8DA%20RCM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Norma de gestión de activos **PAS-55**

<http://www.mantenimientomundial.com/notas/PAS55.pdf>

ISO 13372; 2004

<https://www.iso.org/standard/21830.html>

ISO 10816-3

<https://www.une.org//encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso?c=050528>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de informe de fallas.

	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE FALLA</h2>	Registro: Versión: Fecha de aprob:
---	--	--

Fecha



Pedido de Trabajo
 Obra
 Ubicación de Equipo
 Nombre del Operador

DATOS DEL EQUIPO				APLICACIÓN
Familia	EAM	Modelo	Horas/Km	Función Principal
Plantas Industriales				

¿Cómo encontró la máquina?	<input type="checkbox"/> Operativa(s)	<input type="checkbox"/> Inoperativa	<input type="checkbox"/> Proceso de reparación por Terceros	<input type="checkbox"/> Reparado por Terceros.
¿Dónde intervino la máquina?	<input type="checkbox"/> Taller	<input type="checkbox"/> Campo	<input type="checkbox"/> Taller de Terceros	<input type="checkbox"/> Planta

¿Qué falla encontró?

¿Cuándo y Dónde Ocurrió la falla? (Fecha, hora y Progresiva, km, planta, etc.)

¿Qué información le proporcionó el operador?

¿Qué trabajos realizó?

Indicar consecuencias o posibles fallas en otros componentes a raíz de la falla

En su opinión ¿Cuáles son las causas de la falla?

<input type="checkbox"/> Falle Operación y/o Condición	
<input type="checkbox"/> Falle Componente (vide 001)	
<input type="checkbox"/> Falle Componente (generatura)	

De sus recomendaciones y/o observaciones para que la falla no vuelva a ocurrir

Indicar el estado de la intervención:

<input type="checkbox"/> Intervención pendiente por disponibilidad de Máquina	<input type="checkbox"/> Intervención pendiente por repuestos	<input type="checkbox"/> Intervención Terminada
---	---	---

Nombre del Técnico	Firma del Técnico	Firma del Supervisor de Taller
--------------------	-------------------	--------------------------------

Anexar evidencia para mejor calidad de informe (fotos, gráficos, información de fabricante, etc.)

Anexo 2. Informe de falla de motor eléctrico de 200HP de trituradora Metso HP 200.



Fecha

INFORME DE FALLA

Pedido de Trabajo

Obra

Ubicación de Equipo

DATOS DEL EQUIPO - TIPO DE LABOR							
	Modelo	N° de Serie	EAM	Horas/Km	Aplicación	Terreno	Condición Ambiental
Máquina	HP 200	30301665	208001005	H 5773.3	CHANCADO	NIVELADO	CALOR

¿Cómo encontró la máquina / motor?	<input type="checkbox"/> Operativa(s)	<input checked="" type="checkbox"/> Inoperativa	<input type="checkbox"/> Proceso de reparación Por Terceros	<input type="checkbox"/> Reparado por Terceros.
¿Dónde intervino la máquina / motor?	<input type="checkbox"/> Taller del cliente	<input type="checkbox"/> Campo	<input type="checkbox"/> Taller de Terceros	<input checked="" type="checkbox"/> Planta
¿Se realizó algún muestreo?	¿A qué compartimentos?			
<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO				

¿Qué trabajo se le asignó?
➤ Inspección y evaluación

¿Qué falla encontró?
Se encontró:
➤ Motor apagado indican que paro en pleno funcionamiento.
➤ Giro normal de la polea.
➤ Olor a quemado, no se evidencia externamente.

¿Qué trabajos realizó?
➤ Medición y descarte de motor cortocircuitado.

¿Cómo corrigió la falla?
➤ Motor quemado, enviar a rebobinar.

En su opinión ¿A qué atribuye la falla y debido a qué motivos?

<input type="checkbox"/> F. Operación	➤ Degradación del aislamiento de las bobinas por tiempo de trabajo. ➤ Falta de un mantenimiento preventivo a motor abierto.
<input type="checkbox"/> F. Componente (vide US)	
<input type="checkbox"/> F. Componente (prematuro)	

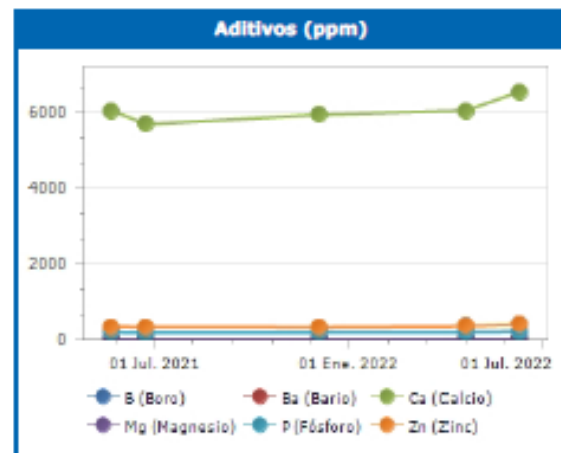
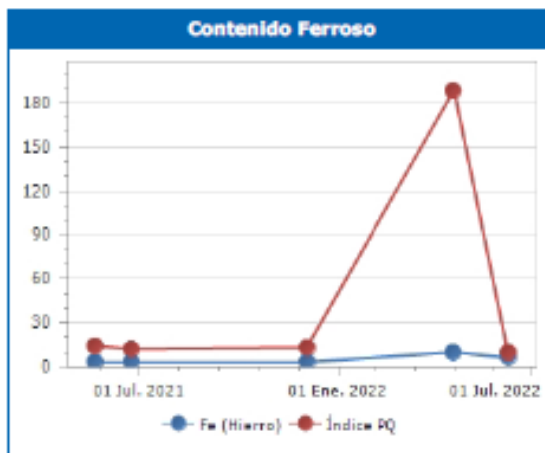
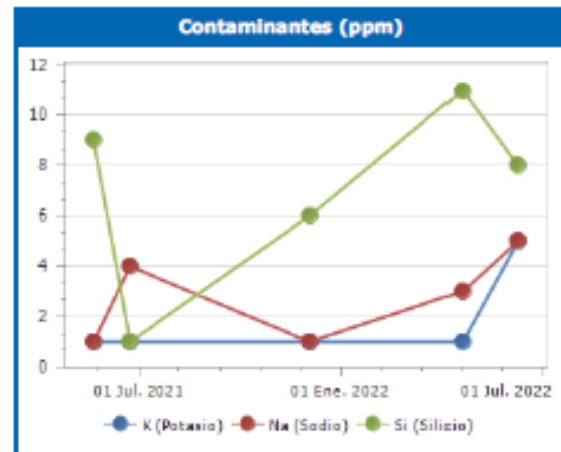
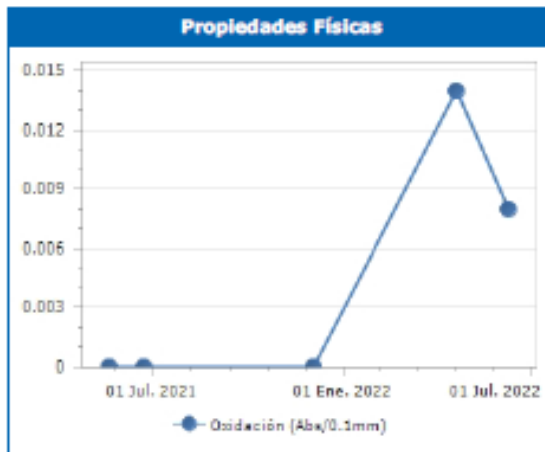
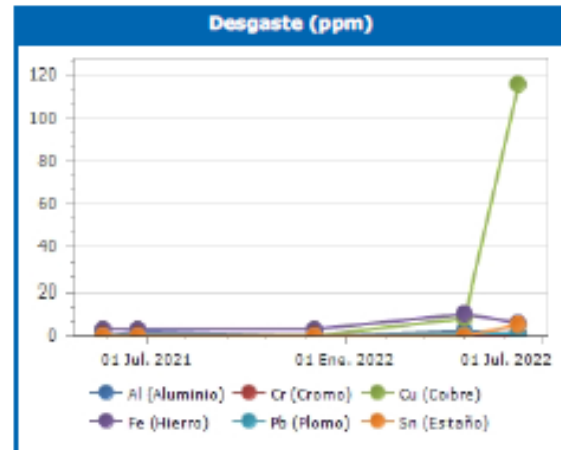
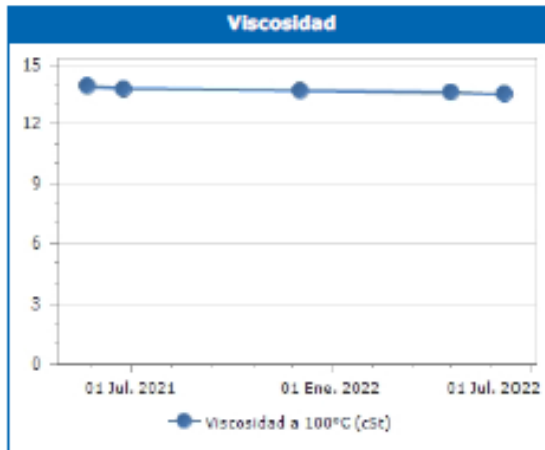
Concisamente de sus recomendaciones y/o observaciones

➤ Enviar a rebobinar el motor.
➤ Realizar un plan de mantenimiento preventivo al término de cada obra.

Indicar el estado de la intervención:

<input type="checkbox"/> Intervención pendiente por tiempo	<input type="checkbox"/> Intervención pendiente por repuestos	<input checked="" type="checkbox"/> Intervención Terminada
FELIX GONZALES AUQUI	19815045	Pedro Cervantes
Nombre del Técnico	DNI del Técnico	Firma del Técnico
		Firma del Supervisor Inmediato o Encargado

De considerar necesario ofrecer más información favor anexarla luego de la presente hoja.

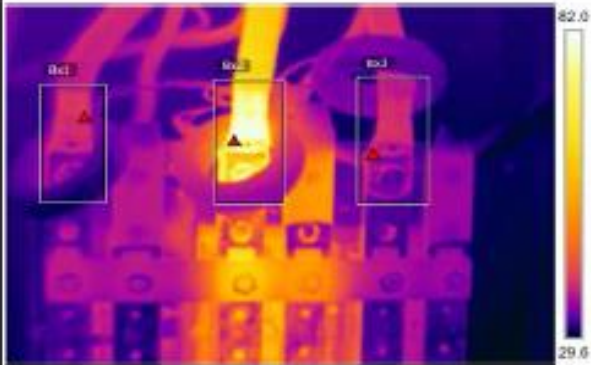



Anexo 5. Análisis termográfico de arrancador de estado sólido para motor eléctrico de 200 HP de trituradora Metso HP200.



CLIENTE	OBRAINSA
AREA	KM 28 - PLANTA CHANGADO TERCARIO





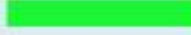
REPORTE	58
SEVERIDAD	CRITICO

IMAGEN TERMOGRAFICA	IMAGEN DEL EQUIPO
	

DATOS TECNICOS	
Equipo	Tablero electrico Ppal
Nombre	Alimentacion arrancador
Fecha Inspección	15/08/2022
Modelo de cámara	T420
Software usado	FLIR TOOLS
Marca	FLIR
Paleta de colores	Hierro
Inspector	Marvin Mogollon

TABLA DE VALORES	
Emissividad	0.95
Carga de trabajo	-
Temperatura ambiente	28.0 °C
Punto o Área "Bx1"	41.8 °C
Punto o Área "Bx2"	80.6 °C
Punto o Área "Bx3"	42.2 °C
Delta de Temperatura	39.0 °C

CRITERIOS DE EVALUACION :

Criticidad	Incremento de Temperatura	Relevancia	Acción
1 	De 33°C a mas	CRITICO	Peligro de muerte y / o daños al equipo
2 	De 16°C a 32°C	SERIO	Fallo del equipo es inevitable a menos que se tomen medidas inmediatas para reparar
3 	De 8°C a 15°C	IMPORTANTE	Si el equipo no es redundante, la reparación se debe programar lo antes posible
4 	De 1°C a 7°C	SEGUIMIENTO	El problema es evidente, pero no de gravedad, el equipo necesita supervisión
5 	0°C	NORMAL	El equipo no presenta problemas

ANÁLISIS & RECOMENDACIONES :



Presenta falso contacto en fase "S". Se recomienda verificar estado, limpieza y/o ajuste de terminal.

Anexo 6. Análisis termográfico de interruptor general de tablero eléctrico de trituradora Metso HP200.



CLIENTE	OBRAINSA
AREA	KM 28 - PLANTA CHANCADO TERCARIO






REPORTE	57
SEVERIDAD	SERIO

IMAGEN TERMOGRAFICA	IMAGEN DEL EQUIPO
	

DATOS TECNICOS	
Equipo	Contactora HP200
Nombre	Llave general - Inferior
Fecha Inspección	15/07/2022
Modelo de cámara	T420
Software usado	FLIR TOOLS
Marca	FLIR
Paleta de colores	Hierro
Inspector	Marvín Mogollón

TABLA DE VALORES	
Emissividad	0.95
Carga de trabajo	-
Temperatura ambiente	28.0 °C
Punto o Área "Bx1"	47.1 °C
Punto o Área "Bx2"	67.4 °C
Punto o Área "Bx3"	47.2 °C
Delta de Temperatura	20.3 °C

CRITERIOS DE EVALUACION :

Criticidad	Incremento de Temperatura	Relevancia	Acción
1 	De 33°C a mas	CRITICO	Peligro de muerte y / o daños al equipo
2 	De 16°C a 32°C	SERIO	Fallo del equipo es inevitable a menos que se tomen medidas inmediatas para reparar
3 	De 8°C a 15°C	IMPORTANTE	Si el equipo no es redundante, la reparación se debe programar lo antes posible
4 	De 1°C a 7°C	SEGUIMIENTO	El problema es evidente, pero no de gravedad, el equipo necesita supervisión
5 	0°C	NORMAL	El equipo no presenta problemas

ANÁLISIS & RECOMENDACIONES :

Presenta falso contacto en fase "S". Se recomienda verificar estado, limpieza y/o ajuste de terminal.

“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN PLANTAS MOVILES – UNIDAD DE NEGOCIOS DE EQUIPOS (UNE) OBRAS DE INGENIERIA SAC EN EL AÑO 2021”

Anexo 7. Monitoreo de motores eléctricos de planta móvil.

OBRAINSA Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento

INFORME TECNICO

A : Ing. Félix López Lozano
Jefe de Mantenimiento y Confiabilidad

DE : Christian Bernabé Dolores
Ingeniero de Confiabilidad

ASUNTO : Reportes de Inspecciones Realizados Pta. BMG – Negromayo KM 28

FECHA : 08-Feb-2022

I. INTERVALO P-F
Se la denomina curva P-F porque muestra cómo una falla comienza y prosigue el deterioro hasta un punto en el cual puede ser detectado (el punto de falla potencial "P"). Si no se detecta y no se toman las acciones adecuadas, continúa el deterioro hasta alcanzar el punto "F" de falla funcional. Para anticiparnos deberemos utilizar una o más de todas las técnicas predictivas disponibles.

II. EQUIPO DE TRABAJO

```

    graph TD
      A[Ing. de Confiabilidad  
Christian Bernabé D.] --> B[Inspector de Mantenimiento Predictivo  
Juan Ramos H.]
      A --> C[Inspector de Mantenimiento Predictivo  
Kico Alaga C.]
    
```

Página 1

OBRAINSA Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento

III. EQUIPO UTILIZADO
Para realizar las inspecciones se empleó el Equipo portátil para pruebas en motores desenergizados ALL-TEST Pro 5™. El equipo puede realizar una evaluación Rápida de la Totalidad Circuito del Motor.

Nos permite tener información completa e inmediata de la condición del estator, rotor, conexiones, contaminación y fallos de tierra. Una prueba sencilla de 2 minutos evalúa los devanados, el cableado y las conexiones. Las pruebas complementarias le permiten evaluar el rotor y el cableado para identificar el fallo. Se evalúa el funcionamiento de todos los componentes del motor, incluyendo rotores y bobinados de inducción; bobinados de campo de CC e inducidos y bobinas de campo y de rotor en motores síncronos

IV. EQUIPOS INSPECCIONADOS
Para realizar las inspecciones se empleó el Equipo portátil para pruebas en motores desenergizados ALL-TEST Pro 5™. El equipo puede realizar una evaluación Rápida de la Totalidad Circuito del Motor.

ITEM	EQUIPO	CONDICION	OBSERVACIONES
01	MOTOR EXTRACTOR DE AIRE	PARADA	RESISTENCIA, CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor. Realizar pruebas posteriores a la intervención.
02	MOTOR BOMBA DE INYECCIÓN	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
03	MOTOR ELEVADOR DE PALETAS	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
04	MOTOR CAPTADOR DE FINOS	NORMAL	En condiciones normales de operación
05	MOTOR 01 - DRUMIX	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
06	MOTOR 02 - DRUMIX	NORMAL	En condiciones normales de operación

Página 2

OBRAINSA Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento

ITEM	EQUIPO	CONDICION	OBSERVACIONES
07	MOTOR PLANTA DE CAL	ALARMA	RESISTENCIA. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
08	MOTOR IFO	PARADA	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO. 29 MQ, se recomienda barnizar y estufar el motor. Realizar pruebas posteriores a la intervención.
09	MOTOR DE SOPLADOR (STAND BY)	PARADA	BAJO NIVEL DE AISLAMIENTO Y CONTAMINACIÓN. Se recomienda barnizar y estufar el motor. Realizar pruebas posteriores a la intervención.
10	MOTOR BOMBA DE AGUA 01	NORMAL	En condiciones normales de operación
11	MOTOR BOMBA DE AGUA 02	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
12	MOTOR BOMBA DE AGUA 03	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
13	MOTOR BOMBA DE TRASEGADO	NORMAL	En condiciones normales de operación
14	MOTOR DE QUEMADOR	ALARMA	CONTAMINACION. Se recomienda barnizar y estufar el motor.
15	MOTOR TOLVA 03	NORMAL	En condiciones normales de operación
16	MOTOR TOLVA 04	NORMAL	En condiciones normales de operación
17	MOTOR TOLVA 01	NORMAL	En condiciones normales de operación
18	MOTOR TOLVA 02	NO SE MIDIO	Tapa de conexiones al lado de estructura, no se pudo retirar. Realizar mantenimiento por precaución.
19	MOTOR FAJA COLECTORA DE TOLVAS	NORMAL	En condiciones normales de operación
20	MOTOR FAJA DE ALIMENTACIÓN	NORMAL	En condiciones normales de operación

Página 3

OBRAINSA Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento

V. REPORTES REALIZADOS

a) **MOTOR EXTRACTOR DE AIRE**
En Observación. Se recomienda barnizar y estufar el motor.

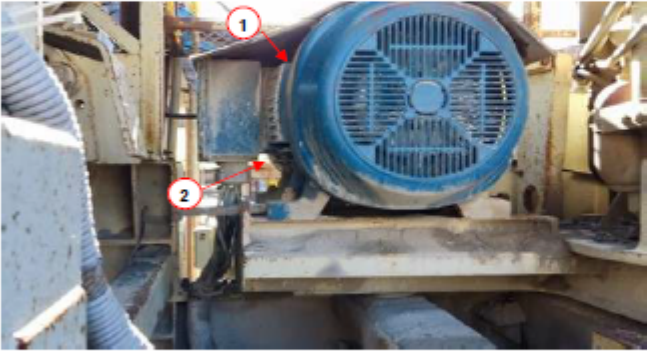
b) **MOTOR BOMBA DE INYECCIÓN**
CONTAMINACIÓN. Se recomienda barnizar y estufar el motor.

Página 4

Anexo 8. Monitoreo de Vibraciones en Motor HP200.



CLIENTE	OBRAINSA		REPORTE	06	
OPERACIÓN	TALLER		FECHA	19-Jul-22	
ÁREA	HP 200		CONDICIÓN	SATISFACTORIO	

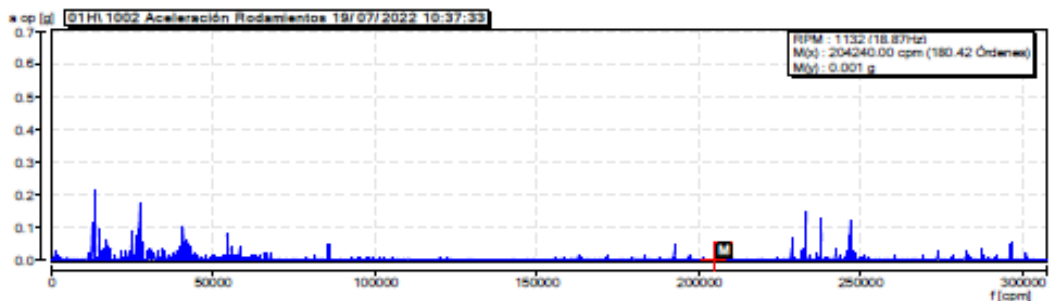
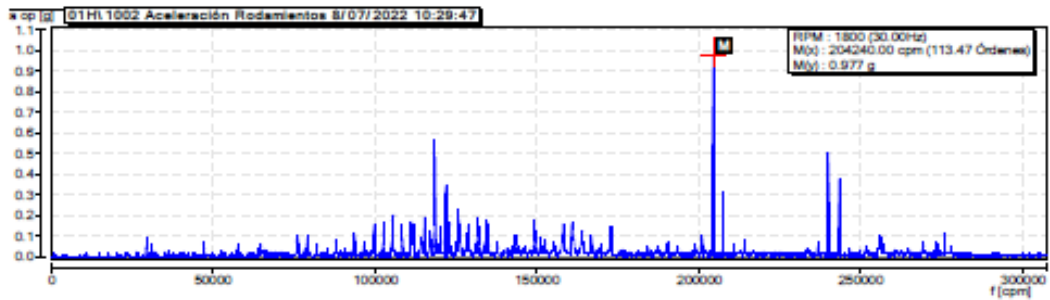
DIAGRAMA DEL EQUIPO				EQUIPO			
				Motor Elec.			
				TAG		-	
				MOTOR			
				VELOCIDAD		1800 rpm	
				POTENCIA		200 hp	
				NORMA DE EVALUACIÓN			
ISO 10816-3 (mm/seg – RMS)							
BUENO		<	2.3				
SATISFACTORIO		2.3	4.5				
INSATISFACTORIO		4.5	7.1				
INACEPTABLE		7.1	>				

VALORES GLOBALES DE VIBRACIÓN								
PUNTO		VIB. TOTAL 8-Jul-22	VIB. TOTAL 19-Jul-22	Temperatura °C	PUNTO	VIB. TOTAL 8-Jul-22	VIB. TOTAL 19-Jul-22	Temperatura °C
MOTOR								
1	H	2.76	0.71	46.9	2	H	1.84	0.41
	V	2.78	2.04			V	2.76	1.93
	A	0.71	1.04			A	1.17	0.93
REDUCTOR								
3	H	-	-	-	4	H	-	-
	V	-	-			V	-	-
	A	-	-			A	-	-
5	H	-	-	-	6	H	-	-
	V	-	-			V	-	-
	A	-	-			A	-	-

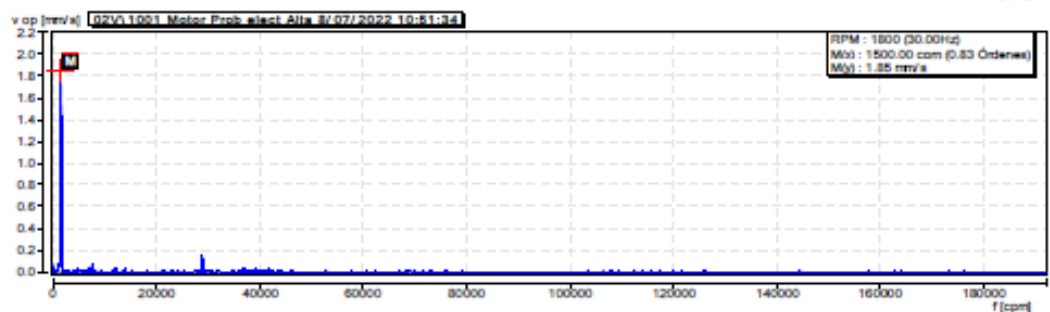
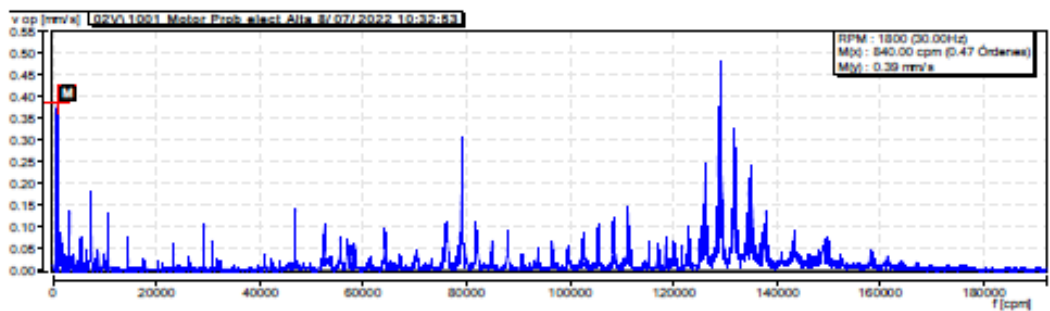
ANÁLISIS ESPECTRAL DE VIBRACIONES			
MOTOR	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	SATISFACTORIO
OBSERVACIONES	Posterior al cambio de rodamientos no se aprecia problemas de falla de rodamientos. No se aprecian puntos calientes en el motor (Temp.. Máxima 55.1 °C).		
CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES	Continuar con el monitoreo de vibraciones.		
REDUCTOR	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	
OBSERVACIONES	-		
CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES	-		



ESPECTROS FFT



Espectro FFT Velocidad Pto. 01H del Motor, antes y despues del cambio de rodamientos muestran disminución en valores de vibración.



Espectro FFT Velocidad Pto. 02V del Motor, antes y despues del cambio de rodamientos muestran disminución en valores de vibración.