



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**T E S I S**

**RENDIMIENTO EFECTIVO Y RENDIMIENTO ESPERADO DE  
LA MAQUINARIA DE C Y M VIZCARRA EN LA MINA SAN  
RAFAEL, SAN ROMÁN, JULIACA, PUNO**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER JUAN CARLOS CATAORA MAMANI**

**ASESOR:**

**DR. ARTURO JESÚS COSI BLANCAS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**MOQUEGUA - PERÚ**

**2019**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Contenido .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema .....	1
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1.Objetivo general .....	2
1.3.2.Objetivos específicos .....	2
1.4. Justificación .....	2
1.5. Alcances y limitaciones .....	3
1.6. Variables .....	4
1.6.1.Operacionalización de variables .....	4
1.7. Hipótesis de la investigación .....	5

1.7.1.Hipótesis general.....	5
1.7.2.Hipótesis derivadas .....	5

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas .....	14

**CAPÍTULO III**  
**MÉTODO**

3.1. Tipo de la investigación.....	33
3.2. Diseño de la investigación .....	33
3.3. Población y muestra.....	34
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	34
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	34
3.6. Procesamiento de datos de los índices de rendimientos de los equipos .....	36
3.6.1.Rendimiento del equipo .....	37

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO**

4.1. Presentación de resultados .....	39
4.2. Contrastación de hipótesis .....	56
4.3. Discusión de resultados .....	59

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones .....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÉNDICE.....	70
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	71
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido de tablas</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Rendimiento efectivo .....	4
Tabla 2. Rendimiento esperado.....	4
Tabla 3. Tipo de equipo utilizado .....	39
Tabla 4. Equipo utilizado .....	40
Tabla 5. Marcas de equipo utilizado .....	41
Tabla 6. Tipo PM .....	42
Tabla 7. Línea de base: Horas acumuladas al último PM .....	43
Tabla 8. Línea de base: Horas acumuladas al último PM por equipo.....	44
Tabla 9. Línea de corte: Horas acumuladas hasta reporte.....	45
Tabla 10. Línea de corte: Horas acumuladas hasta reporte por equipo .....	46
Tabla 11. Horas estimadas .....	47
Tabla 12. Horas estimadas por equipo .....	48
Tabla 13. Horas PM .....	49
Tabla 14. Horas PM por equipo .....	50
Tabla 15. Horas faltantes.....	51
Tabla 16. Horas faltantes por equipos.....	52
Tabla 17. Rendimiento efectivo .....	53
Tabla 18. Rendimiento esperado.....	55
Tabla 19. Rendimiento perdido.....	57
Tabla 20. Distribución del rendimiento efectivo por niveles .....	57
Tabla 21. Diferencia de proporciones para categorías de rendimiento efectivo ....	59
Tabla 22. Distribución del rendimiento esperado por niveles.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido de figuras</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tipo de equipo utilizado .....	39
Figura 2. Equipo utilizado.....	40
Figura 3. Marcas de equipo utilizado .....	41
Figura 4. Equipo utilizado.....	42

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Contenido de ecuaciones</b>	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Disponibilidad mecánica .....	19
Ecuación 2. Disponibilidad mecánica .....	36
Ecuación 3. Porcentaje de utilización .....	36
Ecuación 4. Porcentaje de disponibilidad .....	36
Ecuación 5. Porcentaje de ritmo.....	36
Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia.....	36
Ecuación 7. Índice de rendimiento.....	38

## RESUMEN

El presente estudio se propuso como objetivo analizar el rendimiento efectivo y el rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno. En ese sentido, se propuso determinar el rendimiento efectivo, el rendimiento esperado y el rendimiento perdido de la maquinaria pesada durante un periodo específico. La población estuvo conformada por el contingente de maquinaria pesada en operaciones en la mina San Rafael, ubicada en San Román, Juliaca. Y se trabajó con una muestra de 28 equipos de maquinaria pesada. Para la recolección de datos, se utilizó la técnica del análisis documental, sobre la base de la información del Reporte de mantenimiento de canales de C y M Vizcarra. Como resultados del estudio, se encontró que el rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es bajo; el rendimiento esperado es bajo; y el rendimiento perdido no evidencia proporciones diferentes entre los niveles alto y bajo. Como conclusión general, se encontró que el rendimiento efectivo y el rendimiento esperado no superan el nivel bajo.

*Palabras clave:* maquinaria pesada, rendimiento, rendimiento efectivo, rendimiento esperado, rendimiento perdido

## **ABSTRACT**

This study aimed to analyze the actual performance and expected performance of the heavy machinery of C and M Vizcarra in San Rafael, San Roman, Juliaca, Puno mine. In that sense, it was proposed to determine the actual performance, expected performance and lost performance heavy machinery for a specific period. The population consisted of the contingent of heavy machinery in operations in the San Rafael mine in San Roman, Juliaca. And we worked with a sample of 28 heavy machinery equipment. Documentary analysis technique was used, based on information Report maintaining channels of C and M Vizcarra for data collection. As results of the study, it was found that the effective yield of the heavy machinery of C and M Vizcarra in San Rafael, San Roman, Juliaca, Puno, mine is low; the expected yield is low; lost performance and no evidence different proportions between high and low levels. As a general conclusion, it was found that the actual return and expected return does not exceed the low level.

*Keywords:* heavy machinery, performance, throughput, expected performance, lost performance

## INTRODUCCIÓN

Podemos determinar que el rendimiento es un concepto asociado al trabajo que realiza una determinada máquina o al trabajo de las máquinas.

Por lo tanto, se espera que obtener un buen rendimiento supone obtener buenos y esperados resultados con poco trabajo efectuado por la maquinaria. En conceptos de física éste se define como el cociente entre el trabajo útil que realiza una máquina en un intervalo de tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese mismo intervalo de tiempo para su análisis.

El rendimiento de una máquina será siempre un número menor de uno ( $0 < R < 1$ ), se puede expresar en términos de porcentaje en % se multiplica su valor por 100 y este representa el tanto por ciento obtenido del trabajo total suministrado por la maquinaria.

Por lo tanto, se espera que el rendimiento efectivo dado por la maquinaria sea siempre el más alto siempre en cuanto este se encuentre en total operatividad en cuanto a su función y mantenimiento correcto en todo momento. Con lo cual el rendimiento esperado de esta maquinaria sea siempre también el más alto de tal manera que se obtenga un rendimiento de trabajo efectivo para todas las actividades programadas para estas maquinarias

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

El problema específico de C y M Vizcarra en el Proyecto, son las pérdidas de horas de funcionamiento de los equipos, debido a fallas mecánicas que ocurrían frecuentemente, esto nos llevó a realizar un análisis más profundo en el problema, en donde se realizó la toma de datos, como el funcionamiento esperado, funcionamiento efectivo y cuantas horas era el tiempo de reparación de los equipos. Esto nos hizo comparar los datos recolectados y por consiguiente arrojaron valores, las cuales nos llevó a la toma de decisiones en un futuro.

#### **1.2. Definición del problema**

¿Cuál es el rendimiento de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra correspondiendo al efectivo en operación y el esperado según el fabricante en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno?

##### **1.2.1. Problema general**

¿Es posible comparar el rendimiento efectivo y esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra, según el fabricante en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno?

### **1.2.1. Problemas específicos**

¿Es posible estimar el rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno?

¿Se puede estimar el rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar el rendimiento de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra correspondiendo al efectivo operando y el esperado según el fabricante en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Estimar el rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno.

Estimar el rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno.

### **1.4. Justificación**

El sur del Perú es una zona con vastos recursos mineros, cuya explotación corre a cargo de empresas con diferente grado de pericia, de know how y de capacidad de inversión en la explotación de estos recursos. En esa medida algunas de estas empresas cuentan con factores estratégicos y operativos que las hacen más competitivas en el mercado. En ese marco, el análisis de la variable involucrada en los procesos de operación se constituye en una necesidad de orden organizacional para estas empresas. Este estudio responde a esa necesidad de conocer mejor cómo

se desempeña la empresa y, sobre todo, en qué medida aprovecha los recursos con que cuenta. El análisis del rendimiento de los equipos es parte de esa intención de evaluación de la eficiencia en el uso de los bienes que posee, para complementar las operaciones extractivas a las que se dedica.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

### **1.5.1 Alcances**

El presente estudio se propuso como objetivo analizar el rendimiento efectivo y el rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno. En ese sentido, se propuso determinar el rendimiento efectivo, el rendimiento esperado y el rendimiento perdido de la maquinaria pesada durante un periodo específico. La población estuvo conformada por el contingente de maquinaria pesada en operaciones en la mina San Rafael, ubicada en San Román, Juliaca. y se trabajó con una muestra de 28 equipos de maquinaria pesada.

### **1.5.2. Limitaciones**

Las limitaciones fueron el tema logístico ya que el proyecto no contaba con movilidades suficientes para realizar una supervisión correcta. Los reportes de mantenimiento que generaban los conductores también fueron una limitación por la dificultad de conseguir los datos actualizados, para el análisis de los indicadores de rendimiento efectivo y rendimiento esperado de la maquinaria de C y M Vizcarra.

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Rendimiento efectivo*

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Valor final
Rendimiento efectivo	Tiempo de funcionamiento de la maquinaria pesada, durante periodos definidos por líneas establecidas como base, de corte y final desarrollado en campo por las máquinas.	Rendimiento efectivo	Índice de rendimiento efectivo	Horas	Razón	0 – 1
		Rendimiento esperado	Índice de rendimiento esperado	Horas	Razón	0 – 1

**Tabla 2**

*Rendimiento esperado*

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Valor final
Rendimiento efectivo	Tiempo de funcionamiento de la maquinaria pesada, durante periodos definidos por líneas establecidas como base, de corte y final que se espera desarrollar según los fabricantes de las máquinas..	Rendimiento efectivo	Índice de rendimiento efectivo	Horas	Razón	0 – 1
		Rendimiento esperado	Índice de rendimiento esperado	Horas	Razón	0 – 1

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general**

El rendimiento de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra correspondiendo al efectivo y el esperado en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, alcanzan un nivel alto.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas**

El rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es alto.

El rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es alto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Malpica (2014), en la ciudad de Cajamarca, Perú, realizó un estudio cuyo objetivo fue el *Análisis para determinar cuáles son los rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca*, con lo cual se tenga el rendimiento bien definido, por ende en la fase de cumplimentación el ingeniero y/o personal de campo encargado podrá controlar sus rendimientos reales, es decir conocer el rendimiento efectivo y rendimiento esperado de las maquinas a usar, de una forma más práctica que puede ser el número de viajes por hora satisfechos, aumentando así su abundancia, cumpliendo con los entregables y sin rebosar en costos vehementes. Los rendimientos reales alcanzados en la confección, son menores a los dados por el fabricante lo cual valida la hipótesis de la investigación, para las actividades de carguío, empuje, acarreo, corte y nivelación. En la presente investigación se logró calcular los rendimientos alcanzados por los desiguales equipos analizados.

El rendimiento real de los equipos es: excavadora: 81,17 m<sup>3</sup>/h; tractor: 163,93 m<sup>3</sup>/h; cargador frontal: 67,91 m<sup>3</sup>/h; volquete: 47,18 m<sup>3</sup>/h y motoniveladora: 0,21 ha/h. Existen otros factores que afectan los rendimientos semejantes como: Factores imputables al cliente como son: la espera en la demolición, circunscripción de trabajo reducida, falta de frente de trabajo, interferencias en la recorrida de traslado; las cuales disminuyen la abundancia. Factores imputables al tratante como son: fallas mecánicas, equipos no vacantes, etc. Para la estimación de los rendimientos, tomar en cuenta todos los factores que influyen en un proyecto, como son: los grupos con los que se dispone, el acceso al proyecto, la distancia de acarreo, la zona de descarga, tipos de suelo, etc. Tener en cuenta que hay factores humanos que influyen en gran medida a los rendimientos, como son: el operador de la maquinaria pesada y el ingeniero de campo y/o capataz, los cuales en el presente estudio no han sido analizados.

García (2014), en las localidades de Ayacucho y Huancavelica, realizó una investigación cuyo objetivo fue la *Determinación de la eficiencia efectiva y eficiencia esperada de las maquinarias pesadas en los trabajos a realizarse en los ríos Yucaes, Pongora y Llamocctachi*, por lo cual se puede determinar el cálculo de los costos del equipo de construcción, así como para la planificación y programación de las obras, en lo cual es requerido medir la capacidad de trabajo ó capacidad productiva de las máquinas; para ello se dispone de la información que proporcionan los naturales fabricantes de equipo y usualmente se consignan los valores teóricos para obligaciones de máxima eficiencia; sin embargo la mejor fuente de datos de los rendimientos es la estadística de cada empresa, que se obtiene por observación directa porque es la que refleja las exigencias reales de operación

para cada asunto para la determinación de la eficiencia efectiva. De modo que el presente trabajo de investigación se evaluará los rendimientos calculados mediante métodos gráficos y fórmulas establecidas para cada máquina establecidos por los fabricantes, con los rendimientos obtenidos por observación directa que es el motivo del presente trabajo de investigación (p. 3)

Maldonado y Sigüenza (2012), en la ciudad de Cuenca, Ecuador, realizaron un estudio cuyo objetivo fue proponer un proyecto de *Mantenimiento para maquinaria pesada en la empresa minera Dynasty Mining del Cantón Portovelo*. El propósito fue diseñar el plan de modo que permita que la maquinaria pesada esté habitable para su usufructo en el momento oportuno con un rendimiento máximo y mínimo costo. Se procedió con el diagnóstico y el análisis de la información de operación y uso de los equipos.

El inventario actualizado de la maquinaria pesada de la empresa se constituye en la peana importante para la implementación del anteproyecto de mantenimiento puesto que a través de este documento se tiene un ataque rápido a características propias de cada maquinaria como: tipo de maquinaria, estereotipo, código, etc.

La ficha de inspección rutinaria de la maquina consta de ítems que conducen a la revisión presurosa de los diferentes nociones y usos de la máquina, dado que de esta manera se podría identificar el inicio de un desperfecto pequeño que con el correr del periodo se podría someter en un desperfecto más grande o grave, así como incluso, permitirá llevar el control diario de las horas de labor de cada máquina de esta forma sugerir los diferentes tipos de mantenimiento a programar.

El departamento de mecanizado es una proposición positiva, dado que al realizarse los procesos de reparación y fabricación de piezas para las maquinas en el propio taller de la corporación permite abatir los periodos muertos en las rectificaciones, así como asimismo reducir los costos de mantenimiento.

Hernández y Sanabria (2011), en el departamento de Santander, Colombia, realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de exponer un *Programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Gobernación de Casanare*, en la que se emplea el método de efectuar una evaluación de las situaciones actuales de mantenimiento, determinando resistencia y flaqueza, para identificar ventajas del proyecto (presupuesto, talento humano, repuestos, programación y planeación de mantenimiento propuesto), otro método empleado fue la de estructurar la carpeta real de la máquina, para la elaboración de los folios de los equipos eficaces y críticos, bajo reglamento técnico y por último fue la de generar y aseverar una programación de mantenimiento teniendo en escala: repuestos, ingenio humano, costos, niveles de mantenimiento, frecuencia, que permita respetar las tareas de mantenimiento a un año con sus respectivos índices de gestión; proponer índices de gestión, con el fin de respaldar la trazabilidad y chequeo del programa de mantenimiento planteado.

La conclusión más relevante del estudio fue que la aplicación del programa de mantenimiento consiguió mayores recursos de las maquinarias, debido a la rectificación más reiterado y optimar daños tempraneros.

Hernández (2010), en Guatemala, realizó un trabajo cuyo objetivo fue diseñar *Un programa de mantenimiento para los diversos tipos de maquinaria y conjunto de construcción de carreteras*. Se empleó información sobre la zona vial,

especificación de la maquinaria, programa de mantenimiento de la maquinaria y etapas de servicio. Es inevitable que en todo programa de mantenimiento preventivo se haga una anotación exacta de los trabajos o tareas que se han ejecutado a alguna maquinaria o maquina sucesivamente. Deben poseer constantemente a la mano y al día, para algún registro o verificación que se pretenda; deben ser organizados para poder realizar una fácil lectura, comprensible para todo el personal que realice la terea o mantenimiento, y así poder hacer un análisis antes de realizar una próxima tarea. El establecimiento de un programa de entrenamiento para el personal es de apoyo para una conveniente realización del plan de mantenimiento, así como de la operación de la maquina pesada vacante en la zona vial. A través de la búsqueda de medios debidos de mantenimiento preventivo fundamentales como lubricación y engrase, los operarios contribuyeron a extender la edad de la máquina y minimizar así los costos de operación y mantenimiento y ser vigilante de su propia máquina. Al echar a rodar la máquina a grandes amplitudes, se acortó la edad del tren de rodaje y de todo lo concerniente a sus mandos finales, por lo que cuando el recorrido sea incontable es cabal hacerlo por otros medios. Uno de los máximos errores en el tráfico y goce de la máquina o equipamiento es el de hacerla intervenir por largos ciclos, sin verificar los paros precisos, para llevar a cabo un mantenimiento de las mismas y ejecutarlo únicamente cuando hay desperfectos, puesto que esto incrementará los costos, gol de repuestos, como de personal. Cuando la maquina ha sido expuesta a operaciones exigidos y no se le ha propinado un correcto trabajo, siquiera un mantenimiento adecuado, esto provocará desperfectos, lo cual eleva el costo de arreglo y de indispensables por los mismos (p. 117).

Suniaga, (2010), en la Ciudad Guayana, Venezuela, desarrolló un trabajo cuyo propósito fue plantear el *Programa de Mantenimiento Preventivo a las maquinarias pertenecientes al desarrollo rentable de la corporación Venezuela Heavy Industries, C.A. (VHICOA)*. Para ello, se tomó en cuenta la estructura del Inventario de las máquinas, preparación de las cédulas técnicas, rutinas de mantenimiento y la propuesta de un nuevo sistema de gestión del mantenimiento. Se identifica como búsqueda aplicada con método descriptivo y diseño documental y de campo. Se aplicaron citas no organizadas a trabajadores de los desiguales niveles (dirección, supervisores y operarios) de la Gerencia de Mantenimiento Mecánico y Electrónico. También se trabajó con advertencia directa. La Gerencia de Mantenimiento Mecánico y Electrónico carece actualmente del personal encargado de la planificación y cuidado de las obligaciones propias de mantenimiento, figura que es de gran consideración a partir de cualquier estructuración, dado que este es el encargado de definir las acciones necesarias para controlar el estado técnico de los elementos que conforman la instalación industrial, lo que contribuye a obtener los objetivos de la misma y al mismo plazo aclarar complacencia a los panoramas de las partes aprovechadas. A la fecha la Gerencia de Mantenimiento Mecánico y Electrónico no tiene un registro reciente de las máquinas que pertenecen a la planta, hecho que dificulta la programación de mantenimiento preventivo, puesto que no se conoce que las máquinas en realidad se encuentran en los establecimientos de la corporación, su sitio y estado actual. En el uso actual llevados por esta administración para la actividad de mantenimiento preventivo y correctivo a las máquinas, se visualizaron las flaquezas como, la desaparición del cronograma anual para mantenimiento preventivo, inconveniencia en el sondeo de las tareas

elaboradas cuadrillas, entre otras que una sucesión identificadas motivaron el bosquejo de un sistema de mantenimiento de acuerdo a las emergencias reflejadas por la administración. A la fecha los formatos usados no contienen toda la indagación necesaria para el apunte e inspección de las tareas elaboradas sobre las maquinas, un tipo de esto son las ordenes de trabajo que en ninguna de las líneas solicita la denominación ni el código de la máquina, por lo que no se sabe en el historial a que maquina establecer dicha orden de tarea. La corporación tampoco cuenta con las cédulas técnicas de ninguno de las maquinas que se encuentran adentro de sus instalaciones, por lo que no emplea la indagación que se plasma. Las cédulas técnicas son un instrumento de gran ayuda, que ayudan y apresuran gran parte de la indagación requerida para programar el mantenimiento preventivo sobre cualquier maquinaria, ya que las misma incluye indagación como; criticidad del equipo, fecha en la que fue puesto en marcha por primera vez, estado actual, repuestos críticos (p. 70).

La disponibilidad de las maquinas actualmente es regular debido al poco uso de mantenimiento preventivo, lo que ocasiona un acrecentamiento enorme en los costos por arreglo, causando además paradas impensados y accidentes laborales.

Ruiz (2009), en Santander, Colombia, desarrolló una labor cuyo objetivo fue *Plantear e implementar el programa de mantenimiento que trace las tareas de mantenimiento preventivo, el acto y tiempos para la limpieza, comprobación, ajuste, lubricación y sustitución de partes, para la maquinaria y máquinas de la corporación Inverglobal INC Ltda*, con el propósito de afirmar la operatividad a la altura de eficiencia óptimos para las máquinas. Terminado el tiempo de estudio del programa de mantenimiento preventivo encontramos que en los cuatro sucesos

presentados se recuperó la capacidad operativa de las maquinarias. A la fecha ninguna maquina presenta inconvenientes graves que pongan en riesgo la seguridad, el medio ambiente ni su propia integridad. A la claridad de un estudio de costo directo, el programa de mantenimiento incrementó las tarifas en materia de mantenimiento; pero entendiendo el mantenimiento como parte del proceso de producción alcanzamos a ver que los pagos de mantenimiento contribuyeron al aumento de la productividad de los equipos. Toda tarea programada represente reservar para la corporación, tanto en periodo como en dineros. Los máximos derroches de mantenimiento se presentan en mantenimientos correctivos, por lo cual se hace evidente eliminar su ingeniosidad al máximo por medio de reportes a periodos de averías latentes. Durante en un mantenimiento preventivo se repara y se cambia partes para evitar que se malogre en un mantenimiento correctivo se debe reparar y cambiar una parte dañada que en su mal operatividad pudo haber afectado otros componentes (p. 44).

El plan de mantenimiento no es independiente pues pide de la ayuda de los trabajadores, que son quienes tienen relación directa con las máquinas y pueden detectar descomposturas latentes antes que se conviertan en averías.

Galindo y Hernández (2005), en Cundinamarca, Colombia, desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue suministrar *Un plan que mejore el mantenimiento de las maquinarias de carga para la realización del trabajo civil, por medio de una utilización a desarrollar, que se vincula al manual de cada maquinaria, su existencia útil y todas las variables que afectan claramente la actividad correcta de la máquina a la compañía Nacional de Pavimentos Ltda.* Para ello, se obtuvo y registró la clave a partir del análisis de los manuales y el estudio

del comportamiento de las máquinas de carga según sus hojas de vida. Esta indagación se contrastó con la información de las tareas en situ en los puntos de operación de las maquinarias. Luego, se diseñó un plan para el cumplimiento de tareas; se crearon los rangos máximos y mínimos permitidos para cada variable. Entre las terminaciones más importante, se encontró que “son diversos las causas que intervienen en esta técnica de mantenimiento preventivo, por lo cual la implementación de este propósito requiere un método iterativo de recolección de información e ingreso de nuevos registros para una mejora continua” (p. 54).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. La actividad minera**

La minería es la adquisición selectiva de los minerales y otros materiales de la cubierta terrestre. También se denomina así a la ocupación económica primaria relacionada con la excavación de minerales de los cuales se puede obtener un provecho económico. Dependiendo del tipo de material a sacar la minería se divide en metálica y no metálica. Las maneras de extracción pueden ser a cielo abierto o subterráneo. Las causas que lo establece serán entre otros la geología y geometría del yacimiento y la cualidad geomecánica del mineral y el estéril.

El yacimiento más antiguo que se tiene insistencia arqueológica es Cueva del Pico, en Suazilandia. En este lugar, que de acuerdo con las dataciones por el método del carbono 14 tiene una edad de 43 000 años, los hombres del paleolítico excavaban buscando hematita, un mineral que contiene hierro, con el que quizá producían pigmentos de color ocre.

En varias circunscripciones de Europa central, como en la República Checa, Eslovaquia y Hungría se han hallado vetas de una antigüedad similar donde los Neandertales buscaban piedras sílex para fabricar armas y herramientas.

Otra perforación minera fue el yacimiento de turquesas en la que trabajaban los antiguos egipcios en Uadi Maghara, en la península del Sinaí. También se sacaban turquesas en la América precolombina. En interesantes locaciones a lo largo del continente se ha logrado fijar que desde el distrito minero de Cerillos, en Nuevo México, donde se sacó, empleando herramientas de piedra, una masa de roca de 60 m de profundidad y 90 m de ancho; el colector de la mina cubre una superficie de 81 000 m<sup>2</sup>, hasta en el sur del continente Americano; en los actuales territorios de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú; en donde se tiene noticia que se extraía yacimientos de minerales como el oro, cobre, hierro y petróleo en difusiones naturales o en subterráneo con sus vetas, en donde los aborígenes sacaban estos minerales a veces a cielo abierto, de ante mano este método se hiciera popular (Del Busto, 1978).

Usualmente, se capta las labores mineras (Madera, García, Eguidazu y Martínez, 2011) como aquellas labores que se explican a:

- Explotaciones subterráneas de minerales y otras materias primas, mediante planes de trabajo muy diversos, dependiendo del material sacado y al estado de acceso al mismo.
- Explotaciones a “cielo abierto”, las cuales conforman la “minería de exterior”, en las que se incluyen, entre otros, vetas de áridos y rocas ornamentales.
- Subterráneo, extracción, mediciones.

- Empresas de provechos de minerales, como son las plantas de tratamiento.

Desde un punto de vista operacional, todas las tareas mineras de excavación (que son la mayoría) cuentan, en alguna norma, con los siguientes niveles de tareas:

- Organización: Son las ocupaciones que es útil hacer para acceder al mineral, así como preparar su ámbito para mejorar la remoción del mismo, en circunstancias apropiadas de seguridad.
- Comienzo: Labores precisas para “comenzar” el mineral de la tierra.
- Traslado: Engloban aquí las labores precisas para transportar al exterior de la mina tanto el mineral como el material no aprovechable (denominado “estéril”).
- Procedimiento del mineral: Incluye todo el desarrollo industrial para clasificar material estéril de mineral o materia útil y preparada para su distribución, según sus distintas empleos.

En el Perú, de acuerdo al Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, las influencias mineras comprenden, inicial, las acciones realizadas en emplazamientos de superficie o subterráneos en los que se lleven a cabo las tareas siguientes: exploración, desarrollo, preparación y explotación subterránea, a cielo abierto y placeres de minerales metálicos; disposición mecánica incluida la trituración y molienda; separados de no metálicos; concentración; lixiviación o el lavado metalúrgico del material extraído metálico y no metálico; fundición; y, refinación. Segundo, las ejecuciones realizadas en edificios, instalaciones anexas o complementarias, estructuras de ingeniería, tanques de almacenamiento, tuberías en general, generadores, sistemas de transporte, uso de maquinaria, máquinas y accesorios en relación con la ocupación minera.

### **2.2.2. Maquinaria pesada en minería**

Los Estados Unidos fueron los pioneros en evolucionar novedades para economizar mano de obra, primero en agricultura, después en construcción, los dos empalmándose en una enérgica práctica de mecanización. El Reino Unido y Europa se hallaban en notable atraso en ambos sectores, quizá debido a la abundancia de mano de obra y la menor escala de las obras para realizar, lo que llevó a una expansión de la fuerza hacia una mayor productividad (Roberts, 2009).

Los manufactureros norteamericanos de maquinarias, fundadores en desechar maquinaria en desuso, planificada, al contrario del principio europeo de la construcción duradera, también incentivaron la menra de cambio, además de que los lazos entre los manufactureros y los usuarios siempre estuvieron muy cercanos cediendo que clases de operación se incorporaran en el proceso de diseño (Kiley, 2007).

La crónica del mejoramiento en el diseño de máquinas, que se dio principalmente en los Estados Unidos ofrece una encantadora formación del principio de cómo la forma sigue a la función. La preparación del abastecimiento de mover tierra, básicamente como empleo de la distancia de acarreo, hizo aparecer la niveladora, el raspador, el buldózer, la compactora, el cargador y el ubicuo tractor agrícola. Este modo se dio más o menos alrededor de los 1880 hasta el final de la primera guerra mundial. Ya en esta época todos habían conseguido su figura familiar. El plan, utilitario del tractor de hacienda mejoro poco en los últimos noventa años. Las primeras niveladoras, raspadores y compactoras eran de tracción animal, pero el esfuerzo de tracción necesario requería de máquinas de un tamaño excesivo (se mencionaron equipos de hasta 16 mulas), entonces el tractor, y

enseguida el asentador de vías fueron adaptados para poder jalarlos. Luego fueron motorizados. La suma de la cuchara del búldozer al tractor arrastrador, una novedad clave para apartar tierra sobre cortas distancias, llegó un poco más tarde. En la prudencia en que la tracción por vapor no dominaba como era el caso en el Reino Unido, donde la inalterabilidad (las máquinas de vapor victorianas quedaron en servicio por medio siglo y más) era sin duda una traba al desarrollo de maquinaria relativamente ligera y ágil, el motor a combustión interna fue adaptado rápidamente. Sin duda, el hecho de que fuera tan compacto y práctico activo mucho el diseño. A pesar de que no fuera una tarea común encender un motor a petróleo en temperaturas de congelamiento a principios de siglo, los métodos para dar marcha una máquina de vapor ocupaban las primeras horas de cada día (Mamani, 2008).

Posteriormente del crecimiento rápido de los treinta años antes de la primera guerra mundial, se afirmó el diseño en los años 20 y 30. La capacidad y la potencia de los motores incrementaron, los motores diesel se volvieron bastante usados, así como los sistemas hidráulicos. Al inicio de la segunda guerra mundial la maquinaria de construcción había llegado aproximadamente a su forma actual.

### **2.2.3. Mantenimiento: Filosofía e importancia**

La preferente progresiva de la capacidad de la maquinaria hace que ésta represente un alto costo de capital por su logro a la vez que beneficie la producción. Por eso, se ha llevado a sustituir el criterio de organizar unidades de reserva por el de lograr un aumento de la disponibilidad mecánica de las máquinas y por lo tanto de un empleo más colmado de ellos. Además, bien sabe quién ha dirigido un beneficio, que tal criterio de reserva de unidades era bastante falso, ya que en cuanto se

habilitaba todos las maquinas se empleaban todos y por tanto como repuesto no quedaba ninguna máquina (Herrera, 2009). Para aumentar el índice de disponibilidad mecánica (D.M.) que viene definido por la ecuación 1:

$$D.M.= \frac{\text{Horas posibles de trabajo}-\text{horas de parada por reparación}}{\text{Horas posibles de trabajo}} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

D.M.= Disponibilidad mecánica

Para una tarea programado (como la minería) no existe otro resultado que reducir las horas de pausa en el taller o en las labores y para conseguirlo el mejor resultado es prever las averías mediante un sistema lo más completo de mantenimiento preventivo (MP), esto es, ofrecido unas horas programadas para evitar unas pausas incontroladas.

Un moderno programa de mantenimiento de las maquinarias mineras para obtener la obtención con las menores pausas y costos, así como para reducir los bloqueados en el almacén, finiquitar la gran inversión y alargar la vida útil de la maquinaria debe considerar los siguientes aspectos:

- Una selección adecuada de las máquinas para obtener la tarea programada.
- Causa y motivación del personal.
- Buenos recursos de talleres adecuados.
- Buen programa de mantenimiento preventivo.
- Un gran apoyo y respaldo de un buen almacén y de la logística adecuada.
- Una prudente cooperación entre los departamentos de operación y mantenimiento.
- Un plan de comunicaciones efectivo.

- El apoyo del centro de administración y recopilación de datos (computadoras, etc).

Durante la fase de planificación y diseño del proyecto tanto el departamento de operación, como el de mantenimiento e ingeniería, apoyados a su vez por el de compras, deben determinar el tipo, capacidad, número y marca de los equipos necesarios para la explotación (Herrera, 2009).

La estandarización y homogeneización del parque, que ofrece diversas ventajas, tales como familiarización de los operadores con los equipos, reducción del personal de mantenimiento y almacén y necesidad de un número menor de piezas de repuesto y de cursillos de especialización, son criterios más importantes, que afectan al mantenimiento.

Un segundo análisis que se debe estudiar en un moderno programa de mantenimiento, debe ser la creación y la buena capacitación del personal de mantenimiento. Este punto suele estar envuelto a través de las conferencias que las propias casas vendedoras organizan, o por las propias empresas (Herrera, 2009). A su vez se debe intentar promover tanto a los trabajadores como a los practicantes para que sean seria de la consideración que tienen las tareas a realizar, entre ellas las muy peculiares particularidades del mismo plan minero.

Pero estos aspectos tienen que estar apoyados por unos métodos con instrumentos, como fabrica fijas o móviles y las estaciones de servicio, cuyo lugar debe ser tan cercanos como se pueda al yacimiento, planeados con unas normas amplias y pensando en las posibles extensiones que puedan requerir por un aumento de la capacidad de trabajo futura (Herrera, 2009).

Otro apoyo de instrumentos indispensable lo constituye el almacén de repuestos y conjuntos de piezas y del que es obligatorio lograr el máximo de contribución con el área de mantenimiento (Barroeta, 1999).

A su vez, esta área tiene que laborar fuertemente ligado con el trabajo, pues la teoría de "producción a cualquier costo" tiene que ser derogada, ya que sólo acarrea a mitad de tiempo al cierre del yacimiento o una situación grave (Walton, 1988).

Otras dos columnas sobre las que se sostiene un buen plan de mantenimiento lo establecen, por un lado, un buen método de comunicaciones prácticas, teléfonos, télex, fax, etc., y por otro lado un método informático capaz de alcanzar un buen dominio u comunicación correcta y en tiempo real de todos los documentos necesarios para el proyecto de los trabajos a llevar a cabo en cada máquina y en cada situación.

Dentro del mantenimiento programado cabe analizar actualmente dos reglas o teorías de constitución, de acuerdo con el hecho de corregir la avería inevitable antes o después de que se produzca:

- Mantenimiento preventivo programado en sus dos variantes.
- Mantenimiento correctivo mediante cambio de grupos repletos en: horas valoradas como margen de vida del grupo; y averías y/o reparaciones, que significa cambio por muerte del repuesto o pieza.

Ahora, el mantenimiento es una labor que tiene no solamente un choque directo sobre la amplitud rentable de un trabajo, sino que es un elemento valioso para lograr unas circunstancias de seguridad y de apoyo medioambiental conforme

con las normas de desarrollo sostenibles de la corporación. Es por tanto y desde todo punto de vista, una labor que adquiere un papel predominante en la facilidad de un plan o de una corporación.

#### **2.2.4. Mantenimiento preventivo (MP)**

La raíz de este método es la conocida frase *más vale prevenir que lamentar*, y es descrito como un método ordenado de revista al que cada máquina o cada pieza de ella se sujete habitualmente, antes de malograrse; por ejemplo:

- Mantenimiento diario a horas determinados.
- Mantenimiento semanal en días determinados.
- Mantenimiento mensual en un día fijo coincidiendo con los anteriores.
- Mantenimiento anual en una semana determinado.

Los planes del mantenimiento preventivo están apoyados en las sugerencias de los fabricantes y ajustados, en base a los rendimientos reales de las maquinas en la tarea, a la propia estructura del trabajo en la corporación minera (Herrera, 2009). Para encaminar un correcto MP es preciso partir de una acción: la reporte del maquinista-conductor debe ser lo más perfecto, de tal forma que, además de los registros dados por todos los medios que citaremos, la propia perceptibilidad humana, nos indique las desviaciones, por pequeñas que sean, que, sin duda, es el mejor principio de las admisibles averías o futuras causas de pausa (Silva, 2007). El informe del operador, tomado diariamente por el supervisor, debe pasar revisión a todos los puntos capaces de ser apreciados por los seis sentidos - únicamente el más notable, el usual- y tras el parte realizado u orden de trabajo, procurar la más rápida rectificación de todos los espacios citados en aquel por desestimables que se presente, anterior la verificación del experto mecánico encargado (Silva, 2007).

Un plan de mantenimiento preventivo debe integrar básicamente los siguientes avisos o informes:

- Parte diario del conductor.
- Orden de trabajo.
- Inspección de mantenimiento preventivo.
- Registro e historial de reparación y mantenimiento.
- Aviso mensual avanzado.
- Aviso anual acopiado.

Otra comunicación suplementaria está formada por las órdenes de trabajo que deben rebelar parcialmente en el encargo, contenido en el parte diario, los argumentos del requerimiento, pero siempre con la verificación del jefe mecánico o eléctrico. Los controles del mantenimiento preventivo, se pueden realizar regularmente (cada 25, 50, 100, 200, 500, 1000, etc., horas de trabajo) y conforme los espacios sean más largos y aumente el número de las horas de actividad, se van comprendiendo más puntos de fiscalización o control, hasta que, para un número de horas fijadas, es necesario llevar las maquinas a la fábrica y realizar un gran chequeo general desarmando para poder analizar más precisamente todas aquellas piezas que no son importantes superficialmente (Olives, 2006).

En yacimientos en lugar de llevarlo a cabo en unos tiempos fijos se cumple el MP a una hora segura de un día estable de cada semana, de cada mes o año, que permite una mejor planificación de la tarea de una flota grande de maquinaria o máquinas (Herrera, 2009).

La inspección de reparaciones y mantenimiento, debe dar una descripción de las tareas realizados a la máquina, el precio aproximado de cualquier parte

cambiado, y el periodo real requerido para completar la reparación. Tiene que existir también, en la inspección una línea agregada para copiar las observaciones y otra línea para los periodos de "Espera por reparación" (Herrera, 2009).

A partir de los partes diarios y de las inspecciones de (R) Reparaciones y (M) Mantenimiento, se hacen otros partes resúmenes mensuales en los que se puede suponer la certeza del plan de mantenimiento y los precios vinculados con el mismo. Todo este reporte debe de valer para evaluar la disponibilidad real y final de las distintas máquinas, y la adecuada operatividad del almacén por lo que se refiere a los insumos, todo ello terminando con los precios de la reparación por cada máquina o equipo (Suniaga, 2010).

El parte anual debe ser un compendio o selección de todo reporte contenida en los partes diarios y en los mensuales y establecer una clara evidencia del historial de la maquina desde su origen hasta la fecha.

En algunos yacimientos se puede mantener a dar la enorme consideración a todo lo decorativo, como la pintura, los cristales y niquelados, etc., no por otra razón que por el efecto psíquico de atención que causa sobre el propio trabajador y que le fuerza a revelar cualquier otro desperfecto que realmente pueda llegar a ser significativo para la máquina.

Una buena norma del MP es reducir al mínimo el tiempo entre el requerimiento – parte del conductor y su corrección por la fábrica; tan solo el tiempo necesario para que el mecánico habilite el material necesario para realizar la restauración (Velásquez, 2008). La inspección técnica que se realiza en el servicio de MP se lleva a cabo mediante:

- El empleo de instrumentos indicadores y de cronómetros de verificación tales como manómetros, termómetros, etc.
- El estudio diario de los aceites, midiendo su grado de contaminación, dispersión, viscosidad, color.
- La formación y análisis de los gastos de grasas, gasoil, líquidos, etc., mediante el uso adecuado de un método de registro - adjuntado el desgaste de computadoras como inspección y estudio de datos históricos.
- Estudio de los humos de escape mediante el uso de veloces métodos de precisión de piezas, igual como espectrómetros. El color de los humos es una buena figura de la combustión, un color azulado denota la presencia de aceite, entretanto el color negro informa una falta de aire (Gallardo, 2007).
- La inspección de los resultados de los exámenes con nuevas muestras de aceites o aditivos, así como de cualquiera otro cambio efectuada a la maquina sobre los genuinos dados (Hernández y Sanabria, 2011).
- El aseo regular, mediante el apropiado lavado a temperatura y presión, que dejara mirar cualquier daño, grieta o fuga que pueda tapar el barro o el polvo, así como lograr medir o comparar los desgastes de ciertos componentes, como cables, chapas, deformaciones o puntas, etc. (Hernández, 2010).
- Los exámenes o verificaciones del espacio de desaceleración o aceleración para suponer el estado de motores y transmisiones.
- Verificación de la apropiada flecha de los trenes de rodaje y de la fuerza de inflado de neumáticos antes de iniciar a laborar la máquina por medio de graduaciones, manómetros, sensores u otros medidores, etc. (Maldonado y Sigüenza, 2012).

- El uso de dinamómetros o bancos de ensayo, que admitan medir la potencia de cada eje, motor, transmisión o punto que importa tras una reparación.
- Cualquier otro sistema o instrumento que las mismas características electromecánicas de la máquina nos solicita, como dimensión de vibraciones o deformaciones.

Otra principal figura del mantenimiento preventivo está formada por el cambio, corrección o bien la preservación de aquellas piezas o partes de la máquina que puedan o deban ser cambiadas o renovadas, bien por no ser los más apropiados a las singulares características del yacimiento o bien por aquellos progresos tecnológicos que desde la compra de la maquinaria o vehículo han aparecido y que se pueden llegar a incorporar al grupo. Son las modificaciones muy importantes que ayudan al mejor desenvolvimiento de las maquinarias y máquinas en el proyecto (Ruiz, 2009).

Asimismo, de esas inspecciones, estudios y modificaciones, es competencia del Mantenimiento Preventivo el efectuar la verificación de los niveles de aceite, agua y grasa, así como el reportado de los mismos a los niveles fijos, el adecuado cambio de los mismos, cuando el estudio lo asesore o el tiempo de empleo lo requiera, la verificación de los puntos de lubricación y engrase de todos los puntos señalados en la ficha de control del mantenimiento (Hernández, 2010).

#### **2.2.5. Mantenimiento correctivo y predictivo**

Los recientes sistemas de mantenimiento correctivo se basan en el principio de "intercambios de conjuntos completos" que hace imaginar el cambio de una pieza o parte de la máquina por otro debidamente arreglado y comprobado y que se puede

conducir en uno de dos momentos: cuando se alcanzan las horas evaluadas como final de vida de la pieza o parte del equipo; entonces, toma el nombre de mantenimiento predictivo. O cuando se suscita algún desperfecto; en este caso estamos en el clásico mantenimiento correctivo o por avería.

Por *conjuntos completos* se deben de comprender entre otros los siguientes elementos o partes de una maquina:

- Motores diesel o eléctricos integro.
- Transmisiones o transformadores.
- Convertidores o reducciones. Mandos finales.
- Bombas y motores hidráulicas.
- Compresores.
- Palas o cubas completas.
- Trenes de rodaje, barras o bocas de perforación, etc.
- Fundas montadas en sus llantas.
- Paneles de control eléctrico o electrónico.
- Subestaciones de transformación.
- Cables eléctricos en longitudes estándar (1000 horas).
- Cajas de volquetes completas.
- Cabinas de operadores o puertas con cristales.
- Rodetes o cangilones.

Esta figura de producirse accede disminuir al máximo el tiempo invertido en las evaluaciones y reparaciones, y el riesgo de mandar las maquinas averiados a las fabricas especiales o de la casa fabricante, logrando así minimizar el número de

los técnicos necesarios en la lista minera y con ello los precios de reparación (Herrera, 2009).

Un nuevo adelanto, dentro de los métodos actuales de mantenimiento, es el llamado mantenimiento predictivo, que imagina una elevada y precisa razón de la permanencia de cada parte o conjunto de la máquina para lograr un programa de las sustituciones, precisamente poco antes de que vayan a expirar por desgaste o rotura.

El uso de la mención histórica libre en las bases de datos reunidas por las áreas de mantenimiento, permite llegar a consolidar en cada operación cual es la hipótesis de vida de cada pieza en función de aquellos conjuntos o partes similares que anteriormente han caído. Es importante este mantenimiento predictivo para aquellas reparaciones regeneraciones o revisiones programadas de carácter anual a que se someten las grandes fábricas de concentración, trituración o las enormes palas o excavadoras, rotopalas (Herrera, 2009).

#### **2.2.6. Clases de mantenimiento**

El nombre que se utiliza para especificar los diferentes métodos de mantenimiento ha rendido un poco enredado por la indeterminación de las conclusiones. Algunas de los conceptos más utilizadas, explicando al mismo tiempo las distintas clases y las partes de control más normales en el mantenimiento minero más usuales e importantes, capaz de sostener de manera efectiva una planificación de mantenimiento con las diferentes maquinarias y maquinas en un yacimiento son las siguientes:

##### **2.2.6.1. *Mantenimiento por corrección de avería o correctivo.***

Las maquinarias están en trabajo hasta que no pueda ejercer un trabajo normal.

Una vez perfeccionado el desperfecto que produjo la pausa no regresara a prestar interés hasta que no se produzca otra avería (Velásquez, 2008).

Existen ciertos casos en los que este método puede estar admitido, como es el caso de las pequeñas canteras y trabajos públicos de corta duración, pero en común resulta caro y comprometido por no poder respaldar, a medio plazo, ni las fabricaciones ni los costos horarios por tonelada de una mina mediana o grande (Herrera, 2009).

#### ***2.2.6.2. Mantenimiento programado.***

Consiste en la atención e inspección de los puntos más débiles en unos tiempos de predefinidos y que si no se realizan pueden dar lugar a un desperfecto (Velásquez, 2008). Entre los distintos modelos de mantenimientos programados predomina el preventivo y el predictivo.

#### ***2.2.6.3. Mantenimiento preventivo.***

Por medio de unas indagaciones regulares se conoce la situación de la máquina y se plantean las correcciones obligaciones para ser desarrolladas en los instantes más oportunos y antes de que se lleguen a producir las averías (Velásquez, 2008).

#### ***2.2.6.4. Mantenimiento predictivo.***

Básicamente una distinción del mantenimiento preventivo. Está demostrado en unos métodos de fiscalización o de investigación no destructor que calculan la marcha de los desgastes a lo largo del tiempo y, a través de extrapolaciones ejecutadas instantáneamente por las computadoras, predice el punto y momento de la avería de una forma más precisa y correcta que un financiamiento estadístico del momento de cambio, como ocurre en los planes normales de mantenimiento preventivo (Ibarra, Núñez y Huerta, 2010).

Fundamentalmente se realiza por el control con grandes planificaciones de computadora que no solo prevén los momentos y los elementos necesarios, sino que también regula con los almacenes y suministradores de partes para lograr una perfecta coincidencia en tiempo de las tareas de sustitución de conjuntos (Herrera, 2009).

#### ***2.2.6.5. Mantenimiento con proyecto o con ingeniería preventiva.***

También llamado D.O.M. (Designing Out Maintenance). Consiste en laborar y estudiar sobre aquellos puntos o zonas de las máquinas o maquinarias que originan las anomalías más consecutivas con elemento de proyectarlos de una nueva forma o con un elemento que disminuyen éstas y por tanto el tiempo y volumen del mantenimiento y su costo (Ibarra y otros, 2010).

Es la metodología más ingeniosa y empieza por el diseño de todos los componentes de la máquina y su posible incautación o construcción de las partes en el país de la realización minera o en el propio taller. En usual en las minas es siempre necesario reforzar el proyecto de algunas de las partes de las máquinas con mayor uso o desgaste, de acuerdo con las principales características de la roca que tiene cada mina (Herrera, 2009).

#### ***2.2.6.6. Mantenimiento de reacondicionamiento automático.***

Se moderniza o recompone aquellas maquinarias o máquinas que por su elevada utilización u horas de ocupación están en tales limitaciones que hacen muy difícil poder obtener un adecuado funcionamiento correcto de los mismos. Es también denominado mantenimiento general, rectificación anual o "rebumping" para volver a arreglar las máquinas de muy larga vida, como en el caso de las grandes perforadoras, excavadoras o dragalinas (Herrera, 2009).

### **2.2.7. Efectividad del mantenimiento**

Para calcular el rendimiento y la eficacia del área de Mantenimiento, se deben examinar diferentes índices de un modo simple, entre los que se destacan los siguientes:

- Precio de mantenimiento y reparaciones (M y R) por tonelada o metro cúbico de material.
- Precio de mantenimiento y reparaciones por hora de operación.
- Proporción del precio total operativo que corresponde al precio de mantenimiento y reparaciones.
- Cantidad de mecánicos-hora por cada hora de operación de la máquina.
- Cantidad de mecánicos-hora por cada 1000 toneladas o metros cúbicos de material.
- Vínculo entre las horas de mantenimiento preventivo y las horas de reparaciones o de los periodos de parada bruscas.
- Disponibilidad (global, efectiva, etc.).
- Dominio del mantenimiento indirecto realizado por el personal de operación o por fábricas exteriores.

La disponibilidad es la circunstancia o el registro clave del mantenimiento, pero es necesario esclarecer que no sólo depende de él, pues tanto las tareas de la operación, las determinaciones de los dirigentes y sobre todo la organización de los periodos de trabajo y los repuestos disponibles en el almacén, etc., pueden influir delicadamente y deben ser bien considerados a la hora de hacer un estudio de la real disponibilidad de las maquinarias (Herrera, 2009).

Es muy importante y básico para hablar de disponibilidades haber explicado notoriamente la propia noción de disponibilidad ya que varía mucho entre unas y otros yacimientos, dependiendo del ordenamiento general del trabajo en la corporación, de los convenios colectivos, sindicatos, etc. Existen muy constante confusiones entre las designaciones de los distintos rendimientos periódicos de la maquinaria como la disponibilidad, el ritmo, la eficiencia y la utilización de fórmulas comúnmente aceptadas (Ibarra, Núñez y Huerta, 2010).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

Desde el punto de vista de la profundidad del estudio, esta investigación se identifica como estudio descriptivo (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). En este tipo de estudios “el propósito del investigador es describir situaciones y eventos”. En ese sentido, los estudios descriptivos “buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis” (Hernández y otros, 2006).

#### **3.2. Diseño de la investigación**

En términos generales, el estudio recurre a los diseños no experimentales u observacionales, y entre éstos, a los diseños analítico transversales. Este tipo de investigaciones estudian el evento en un periodo corto de tiempo; en ese sentido, miden las variables de estudio en una sola oportunidad (Velásquez y Rey, 1999).

Para efectos de la contrastación de hipótesis, el estudio adopta el diseño observacional descriptivo. En este tipo de estudios se procura describir la información referida a características predominantes de los grupos poblacionales (Paredes, 2004).

### **3.3. Población y muestra**

La población está conformada por el contingente de maquinaria pesada en operaciones en la mina San Rafael, ubicada en San Román, Juliaca.

La muestra estuvo conformada por 28 equipos de maquinaria pesada utilizadas en la mina.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

En el trabajo de campo, se utilizará la técnica del análisis documental (Paredes, 2004). Esta técnica se concreta en una ficha de registro de datos, que es el instrumento que se aplicó. Asimismo, se utilizó como fuente el Reporte de mantenimiento de canales de C y M Vizcarra. Considerando fuente y variables a analizar, se elaboró una matriz de sistematización de datos (ver Instrumentos de recolección de datos en el apéndice).

### **3.5. Procesamiento y análisis de datos**

El procesamiento de datos se hará de forma automatizada con la utilización de medios informáticos. Para ello, se utilizarán el soporte informático SPSS 18, paquete con recursos para el análisis descriptivo de las variables y para el cálculo de medidas inferenciales; y Excel, aplicación de Microsoft Office que cuenta con potentes recursos gráficos y funciones específicas para el ordenamiento de datos. Para el análisis de la información se utilizarán técnicas y medidas de la estadística descriptiva e inferencial, como las que se señalan: Tablas de frecuencia absoluta y relativa. Estas tablas sirven para la presentación de los datos procesados y ordenados según sus categorías, niveles o clases correspondientes (Toledo, 1998).

- *Gráficos circulares.*

Cumplen una función similar a las de las tablas, pero lo hacen desde una

perspectiva gráfica. Sirven para visualizar los datos presentados en los cuadros. Se utilizaron gráficos simples, para presentar las frecuencias de las características de la muestra, así como los niveles de las dimensiones de la variable de estudio.

- *Media aritmética.*

La media de un conjunto de números es un valor que, teniendo en cuenta la totalidad de los elementos del conjunto, los puede sustituir sin alterar determinada característica de ese conjunto. La media aritmética de la muestra puede no pertenecer al conjunto original de valores, y tampoco tiene que tener un significado real (Toledo, 1998).

- *Mediana.*

La mediana de una muestra es el valor que ocupa la posición central de la lista, cuando los valores están ordenados en orden creciente o decreciente e incluyendo también los valores repetidos, individualmente, en la lista ordenada. La mediana de la muestra divide al conjunto total en dos partes iguales, con la mitad de los valores sobre la mediana de la muestra y la otra mitad por debajo de ella. La mediana de la muestra puede no pertenecer a un conjunto original de valores (Toledo 1998).

- *Coefficiente de variación.*

Magnitud relativa de la desviación típica cuando ésta es comparada con la media aritmética (Toledo 1998).

- *Prueba Z de una muestra para la proporción.*

Esta prueba se aplica para probar una hipótesis concerniente a un valor específico de una porción de población  $p$ . para ello, se calcula la porción de

muestra,  $ps = X/n$  y el valor de esta estadística se compara con el valor supuesto del parámetro  $p$ , de modo que se pueda tomar una decisión respecto a la hipótesis. Para evaluar la diferencia entre la porción de la muestra,  $ps$ , y la porción de la población supuesta  $p$ , la estadística de prueba, se sigue el siguiente criterio: rechazar  $H_0$  si  $Z_e \neq Z_c$ , donde  $Z_e$  es el valor calculado de  $Z$  y  $Z_c$  es el valor teórico de  $Z$  (Berenson y Levine, 1996).

### 3.6. Procesamiento de datos de los índices de rendimientos de los equipos

El procesamiento de los datos se hará de forma automatizada con la utilización de medios informáticos con la aplicación del soporte informático SPSS 18, paquete con recursos para el análisis descriptivo de las variables y para el cálculo de medidas inferenciales y estadísticos, también se utilizarán las siguientes fórmulas para el cálculo de los rendimientos tanto efectivo y esperado:

$$D.M. = \frac{\text{Horas posibles de trabajo} - \text{horas de parada por reparación}}{\text{horas posibles de trabajo}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

$$\% \text{ Utilización} = \frac{H_p}{H_E} \times 100 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 3}]$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{H_T}{H_p} \times 100 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 4}]$$

$$\% \text{ Ritmo} = \frac{H_{TC}}{H_T} \times 100 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 5}]$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \text{Utilización} \times \text{Disponibilidad} \times \text{Ritmo} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 6}]$$

Donde:

$H_E$  = horas existentes = recursos =  $365 \times 24 = 8760$  horas /año

$H_p$  = horas programadas =  $n^\circ \text{ días} \times \text{relevos/día} \times \text{horas/relevo}$

$H_T$  = horas trabajadas por el equipo o la flota

$H_{TC}$  = horas de tacómetro

$H_{PEM}$  = horas paradas por reparación y mantenimiento

Horas trabajadas =  $H_T = H_P - H_{PEM}$  = Horas programadas – Horas paradas por reparación y mantenimiento

Podemos indicar que no existe otra solución, para un trabajo planificado y eficiente que poder disminuir las horas de parada en el taller o en el campo y para poder lograrlo la mejor solución es prevenir las averías mediante un sistema que sea lo más perfecto de mantenimiento preventivo (MP), con lo cual se puede sacrificar unas horas programadas para evitar unas paradas incontroladas de los equipos. Teniendo presente que el rendimiento es la cantidad de obra que realiza una maquina en una unidad de tiempo. En lo cual el rendimiento teórico aproximado se puede calcular de las siguientes formas:

- Por observación directa.
- Por medio de reglas o fórmulas.
- Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante.

Cálculo del rendimiento por medio de tablas proporcionadas por el fabricante. Los fabricantes de equipos cuentan con manuales donde justifican los rendimientos teóricos de las maquinas que producen o fabrican para determinadas condiciones de trabajo, estos datos se basan en pruebas de campo, simulación en computadora, investigaciones en laboratorio, experiencia, etc.

### **3.6.1. Rendimiento del equipo**

Debe de tenerse en cuenta que toda máquina debe llenar todas las condiciones fundamentales para la que fue diseñada. Su adquisición y selección debe ser

consecuencia del estudio de necesidades que tengamos, además debe de apoyarse en la experiencia de hombres que las han trabajado. El éxito o fracaso en la operación de las maquinas depende de la correcta aplicación que se les dé dentro del trabajo que han de realizar. Para obtener de ellas el máximo rendimiento, deben conocerse sus características, así como la forma de aplicarlas, conocer sus capacidades, y de la continua selección de los factores que pueden influir en el rendimiento de una maquina (físicos, mecánicos y humanos), es aprovecharlas en su más alto rendimiento. De igual modo, y para obtener buen rendimiento, el equipo con que se cuenta debe ser adaptado a las necesidades del trabajo. La capacidad o el rendimiento teórico de toda máquina o equipo se ven afectado por los factores siguientes como son el coeficiente de eficacia y el coeficiente de utilización.

$$\text{Índice rendimiento} = \frac{\text{Horas hasta el reporte} - \text{horas acumuladas último PM}}{\text{Horas hasta el reporte}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 7}]$$

Donde:

PM= Mantenimiento preventivo

Con lo cual calculamos los índices para los rendimientos efectivos, rendimientos esperados y rendimientos perdidos, que vendría hacer la diferencia de los anteriores.

Se adjunta las hojas de cálculo utilizados de forma estadística para los parámetros analizados (ver Instrumentos de recolección de datos en el apéndice).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados

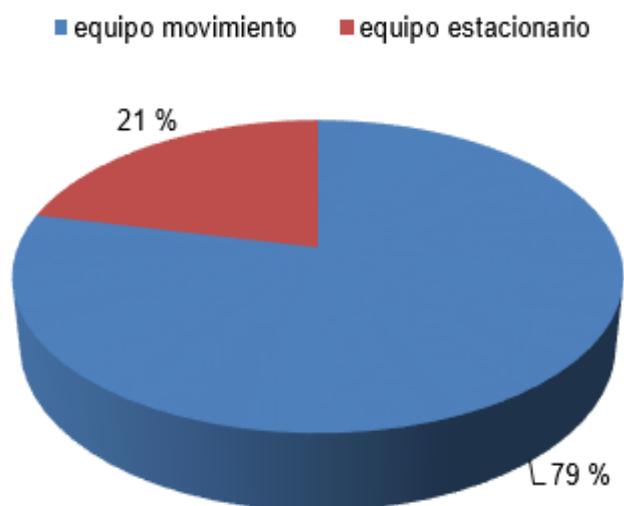
Ver apéndice para conocer los resultados generales de la evaluación realizada.

##### 4.1.1. Características de muestra

**Tabla 3**

*Tipo de equipo utilizado*

Tipo de equipo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Equipo movimiento	22	78,6
Equipo estacionario	6	21,4
Total	28	100,0



*Figura 1. Tipo de equipo utilizado*

La maquinaria pesada de C y M Vizcarra utilizada en la mina está constituida por 22 equipos de movimiento, que representan el 78,6 % del total, frente a seis equipos estacionarios, que representan el 21,4 % del conjunto.

**Tabla 4**

*Equipo utilizado*

Equipo utilizado	Frecuencia	Porcentaje (%)
Tractor	3	10,7
Excavadora	3	10,7
Retroexcavadora	3	10,7
Cargador frontal	3	10,7
Rodillo liso	2	7,1
Volquete	5	17,9
Mixer	2	7,1
Grupo electrógeno	3	10,7
Compresora	2	7,1
Motoniveladora	1	3,6
Bomba de concreto	1	3,6
Total	28	100,0

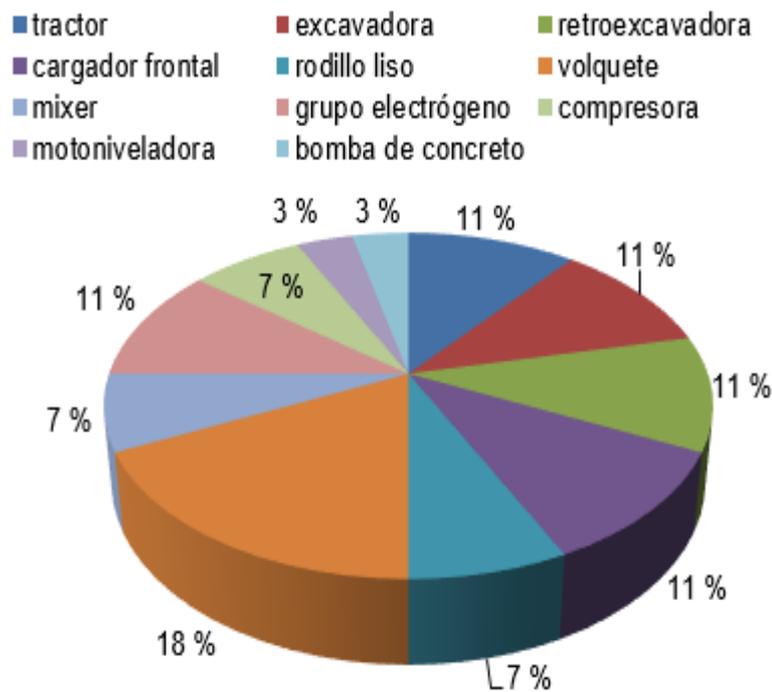


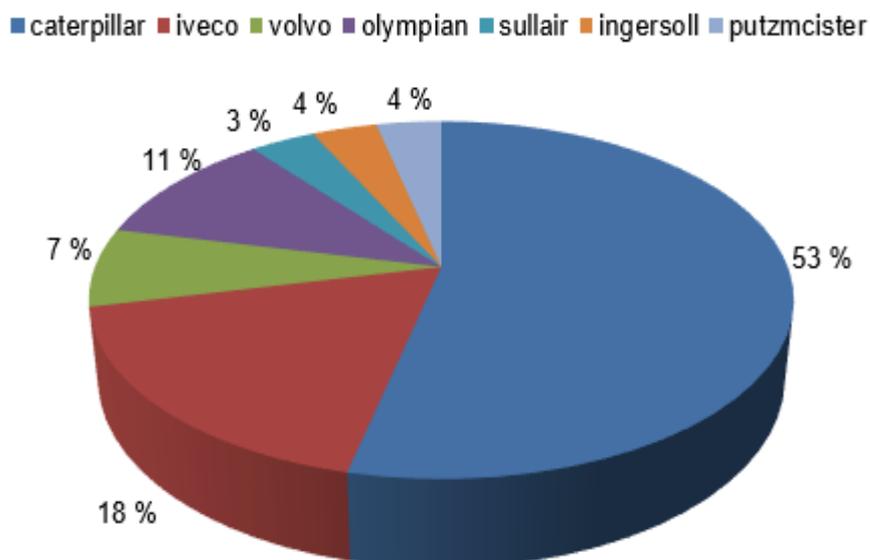
Figura 2. Equipo utilizado

Entre la maquinaria pesada de C y M Vizcarra, destacan los volquetes, que en número de cinco, representan el 17,9 % del total de equipo. Por otro lado, se identifican tres tractores, tres excavadoras, tres retroexcavadoras, tres cargadores frontales y tres grupos electrógenos, que representan cada uno un 10,7 % del total. Aparte, se tienen dos rodillos lisos, dos mixers y dos compresoras, de modo que cada grupo representa un 7,1 % del conjunto. En último lugar aparecen una motoniveladora y una bomba de concreto (3,6 % en cada caso).

**Tabla 5**

*Marca de equipo utilizado*

Marcas	Frecuencia	Porcentaje (%)
Caterpillar	15	53,6
IVECO	5	17,9
VOLVO	2	7,1
OLYMPIAN	3	10,7
SULLAIR	1	3,6
INGERSOLL	1	3,6
PUTZMCISTER	1	3,6
Total	28	100,0



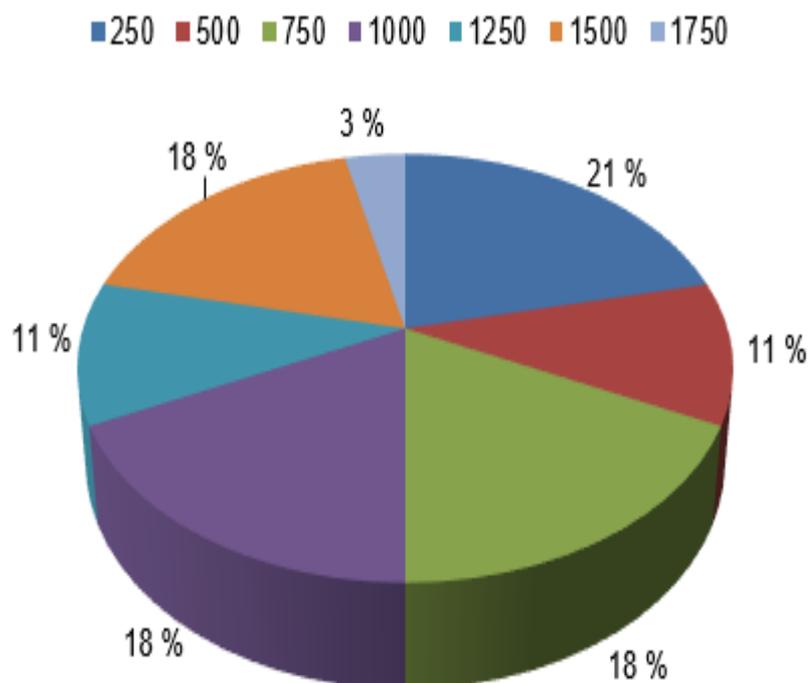
*Figura 3. Marca de equipo utilizado*

Entre la maquinaria pesada de C y M Vizcarra, la marca más común es Caterpillar, con 15 equipos, que representan más de la mitad del total (53,6 %). En segundo lugar, pero con una representación mucho menor, aparece la marca Iveco, con sólo cinco equipos, que representan apenas el 17,9 % del conjunto. La marca Olympian se registra en tres equipos (10,7 %) y volvo sólo en dos equipos (7,1 %). El resto de marcas está presente sólo en un equipo por marca.

**Tabla 6**

*Tipo de PM*

Tipo PM	Frecuencia	Porcentaje (%)
250	6	21,4
500	3	10,7
750	5	17,9
1000	5	17,9
1250	3	10,7
1500	5	17,9
1750	1	3,6
Total	28	100,0



*Figura 4. Tipo de PM*

La maquinaria pesada de la empresa, en función del tipo de mantenimiento requerido, se distribuye en proporciones más o menos parecidas en cuatro categorías: la de 250, la de 750, la de 1000 y la de 1500. Primero, en la categoría de mantenimiento de 250 horas, aparecen seis equipos, que representan el 21,4 %, es decir, poco más de la quinta parte del total. Y segundo, en las categorías de 750, 1000 y 1500 horas se distribuyen cinco equipos en cada una, lo que representa 17,9 % en cada caso, y un total conjunto de 53,7 %. Por otro lado, tres equipos (10,7 %) requieren mantenimiento en la categoría de 500 horas y otros tres (10,7 %) en la de 1250 horas. Un solo equipo se ubica en la categoría de 1750 horas.

#### 4.1.2. Análisis descriptivo de las variables

**Tabla 7**

*Línea de base: horas acumuladas al último PM*

<b>Indicadores</b>	<b>Resultado</b>
Media	6009,98179
Error típico	1080,5461
Mediana	3788,15
Moda	#N/A
Desviación estándar	5717,71251
Varianza de la muestra	32692236,4
Curtosis	2,84355235
Coficiente de asimetría	1,6790378
Rango	22529,5
Mínimo	60
Máximo	22589,5
Suma	168279,49
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0 %)	2217,09743

La línea de base del rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de la empresa, se estableció por medio de las horas acumuladas antes del último mantenimiento preventivo. En este caso, se alcanza un promedio de casi 6010 horas, con una alta dispersión, expresada por una desviación estándar de casi 5718 horas. Esta dispersión se explica por los valores mínimo y máximo que se han tomado en cuenta en el análisis, que corresponden a 60 y 22589,5 horas, respectivamente. Por otro lado, la diferencia que se identifica entre la media (promedio) y la mediana, que se ubica en 3788,15 horas, añadida a los valores de la curtosis y el coeficiente de asimetría, evidencian que la distribución del rendimiento efectivo de los equipos está lejos de asumir una forma normal. Cabe destacar que, en estos casos de distribuciones no normales, una medida más adecuada de la tendencia central de la distribución, es la mediana, que indica que la mitad de los equipos alcanza rendimientos por debajo de las 3788,15 horas.

**Tabla 8**

*Línea de base: horas acumuladas al último PM por equipo*

<b>Equipo</b>	<b>X</b>	<b>DE</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>
Tractor	4770,5	3879,22	1,5E+07	81,316
Excavadora	2805,4	266,571	71060,2	9,502
Retroexcavadora	6606,7	3045,22	9273379	46,093
Cargador frontal	10607	940,531	884599	8,8669
Motoniveladora	2271,9	0	0	0
Rodillo liso	6193,2	7637,88	5,8E+07	123,33
Volquete	5414	886,204	785357	16,369
Mixer	22129	651,033	423844	2,942
Grupo electrógeno	1687,2	627,323	393534	37,181
Compresora	1400,8	371,054	137681	26,489
Bomba de concreto	60	0	0	0

*Nota= X= Valor medio de un conjunto de datos; DE= Desviación estándar de un conjunto de datos; Var= Varianza estadística; CV= Coeficiente de variación de Pearson.*

Al analizar las horas acumuladas hasta el último mantenimiento programado por grupo de equipos, se descubren las diferencias de horas acumuladas antes del último mantenimiento preventivo para cada grupo de equipos. Aparte de la motoniveladora y de la bomba de concreto, que son equipos únicos (razón por la cual su desviación es cero), los valores promedio oscilan desde las 1400,8 horas, de los grupos electrógenos, hasta las 22 129 horas de los mixer. De los datos, se infiere que los equipos que tienen un rendimiento efectivo mucho más homogéneo corresponden a las excavadoras, cuyo coeficiente de variación es de sólo 9,5 %, los cargadores frontales, con un coeficiente de variación de 8,9 %, los volquetes, con un coeficiente de variación de 16,4 %, y los mixer, con un coeficiente de variación de sólo 2,9 %.

**Tabla 9**

*Línea de corte: horas acumuladas hasta el reporte*

<b>Indicadores</b>	<b>Resultado</b>
Media	6139,40857
Error típico	1078,41191
Mediana	3978,5
Moda	#N/A
Desviación estándar	5706,41945
Varianza de la muestra	32563222,9
Curtosis	2,77177263
Coficiente de asimetría	1,65992367
Rango	22440,2
Mínimo	157,3
Máximo	22597,5
Suma	171903,44
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0 %)	2212,71844

La línea de corte del rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de la empresa, se estableció por medio de las horas acumuladas hasta la fecha del reporte.

En este caso, se alcanza un promedio de casi 6139 horas, con una alta dispersión, expresada por una desviación estándar de 5706 horas. Por otro lado, la diferencia que se identifica entre la media y la mediana (en este caso, 3978,5 horas), la ausencia de un valor modal, y los valores no pequeños de la curtosis y el coeficiente de asimetría, muestran una distribución alejada de la normal, lo que sugiere el uso de la mediana, antes que la media, para caracterizar la distribución en función de alguna medida de tendencia central.

**Tabla 10**

*Línea de corte: horas acumuladas hasta el reporte del equipo*

<b>Equipo</b>	<b>X</b>	<b>DE</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>
Tractor	4924	3956,99	1,6E+07	80,361
Excavadora	2904,1	271,959	73961,4	9,3646
Retroexcavadora	6824,1	3111,54	9681690	45,596
Cargador frontal	10730	964,208	929696	8,9862
Motoniveladora	2270,1	0	0	0
Rodillo liso	6314,7	7515,34	5,6E+07	119,01
Volquete	5557,7	878,059	770988	15,799
Mixer	22179	592,343	350871	2,6708
Grupo electrógeno	1847,6	612,927	375680	33,174
Compresora	1505,8	416,21	173231	27,64
Bomba de concreto	157,3	0	0	0

*Nota= X= Valor medio de un conjunto de datos; DE= Desviación estándar de un conjunto de datos; Var= Varianza estadística; CV= Coeficiente de variación de Pearson.*

Al analizar las horas acumuladas hasta el reporte por equipos, se identifica que los valores promedio oscilan entre las 1505,8 horas, de las compresoras, hasta las 22179 horas de los mixer. En este caso, se observa que los equipos en los cuales se espera un rendimiento más homogéneo corresponden a las excavadoras (CV = 9,4 %), los cargadores frontales (CV = 9 %), los volquetes (CV = 15,8 %), y los mixer (CV = 2,7 %). El resto de quipos evidencia un comportamiento más errático.

**Tabla 11***Horas estimadas*

<b>Indicadores</b>	<b>Resultado</b>
Media	6259,98
Error típico	1080,5461
Mediana	4038,15
Moda	#N/A
Desviación estándar	5717,71
Varianza de la muestra	32692236,4
Curtosis	2,84355235
Coefficiente de asimetría	1,6790378
Rango	22529,5
Mínimo	310
Máximo	22839,5
Suma	175279,49
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0 %)	2217,09746

La línea esperada del rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de la empresa, se estableció por medio de las horas estimadas hasta el nuevo mantenimiento. Ésta se determina en función de las horas acumuladas hasta el último mantenimiento más las horas programadas según la frecuencia de mantenimiento. En este caso, se alcanza un promedio de 6259 horas, con una alta dispersión, expresada por una desviación estándar de 5717,7 horas. Por otro lado, la diferencia que se identifica entre la media y la mediana (en este caso, 4038,15 horas), la ausencia de un valor modal, y los valores importantes de la curtosis y el coeficiente de asimetría, muestran una distribución alejada de la normal, lo que sugiere el uso de la mediana para caracterizar la distribución en función de alguna medida de tendencia central. En ese sentido, la mediana indica que, para la mitad

de los equipos, las horas estimadas se sitúan por debajo de las 4038 horas, mientras que la otra mitad lo hace por encima de este valor.

**Tabla 12**

*Horas estimadas por equipo*

<b>Equipo</b>	<b>X</b>	<b>DE</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>
Tractor	5020,53	3879,22	15048342	77.267
Excavadora	3055,43	266,571	71060,163	8,7245
Retroexcavadora	6856,70	3045,22	9273379,5	44,412
Cargador frontal	10857,17	940,531	884598,77	8,6628
Motoniveladora	2521,90	0	0	0
Rodillo liso	6443,20	7637,88	58337281	118,54
Volquete	5664,03	886,204	785357,1	15,646
Mixer	22379,15	651,033	423844,25	2,9091
Grupo electrógeno	1937,23	627,323	393533,54	32,382
Compresora	1650,78	371,054	137681,28	22,478
Bomba de concreto	310,00	0	0	0

*Nota:* X= Valor medio de un conjunto de datos; DE= Desviación estándar de un conjunto de datos; Var= Varianza estadística; CV= Coeficiente de variación de Pearson.

Al analizar las horas estimadas por equipos, se identifica que los valores promedio oscilan entre las 310 horas de la bomba de concreto, hasta las 22 379 horas de los mixer. En este caso, se observa que los equipos en los cuales se espera un rendimiento más homogéneo corresponden a las excavadoras (CV = 8,7 %), los cargadores frontales (CV = 8,6 %), los volquetes (CV = 15,6 %), y los mixer (CV = 2,9 %). Para el resto de equipos, se espera un tiempo menos homogéneo.

**Tabla 13***Horas de PM*

<b>Indicadores</b>	<b>Resultado</b>
Media	129,426786
Error típico	14,6074366
Mediana	137,98
Moda	#N/A
Desviación estándar	77,2952892
Varianza de la muestra	5974,56173
Curtosis	-0,94308578
Coefficiente de asimetría	-0,0869117
Rango	278,7
Mínimo	-1,8
Máximo	276,9
Suma	3623,95
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0 %)	29,9719839

En esta tabla se presentan los estadísticos descriptivos del rendimiento efectivo, medido por medio del tiempo transcurrido entre las horas acumuladas hasta el último mantenimiento programada y las horas acumuladas hasta la fecha del reporte. El promedio es de 129,4 horas, con una desviación estándar de 77,3 horas. Por otro lado, aunque se verifica una diferencia de poco más de 12 horas entre la media y la mediana (en este caso, 138 horas), los valores de la curtosis y del coeficiente de asimetría, muestran que se aproxima a la normal, lo que sugiere el uso de la media para caracterizar la distribución en función de alguna medida de tendencia central. De todos modos, la mediana indica que, para la mitad de los equipos, las horas transcurridas está por debajo de las 138 horas, mientras que la otra mitad se sitúa por encima de este valor.

**Tabla 14***Horas de PM por equipos*

<b>Equipo</b>	<b>X</b>	<b>DE</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>
Tractor	153,47	108,102	11685,9	70,44
Excavadora	98,667	64,817	4201,24	65,693
Retroexcavadora	217,43	67,1552	4509,82	30,885
Cargador frontal	122,7	75,2959	5669,47	61,366
Motoniveladora	1,8	0	0	0
Rodillo liso	121,45	122,542	15016,4	100,9
Volquete	143,72	77,5198	6009,33	53,939
Mixer	49,5	58,6899	3444,5	118,57
Grupo electrógeno	160,37	15,1579	229,763	9,4521
Compresora	105,03	45,1558	2039,05	42,993
Bomba de concreto	97,3	0	0	0

*Nota:* X= Valor medio de un conjunto de datos; DE= Desviación estándar de un conjunto de datos; Var= Varianza estadística; CV= Coeficiente de variación de Pearson.

Al analizar el rendimiento efectivo considerando los equipos de maquinaria pesada de la empresa, se identifica que los valores promedio oscilan entre las 49,5 horas, de los mixer, hasta las 217 horas de las retroexcavadoras.

En este caso, sólo los grupos electrógenos muestran un comportamiento bastante homogéneo (CV = 9,4 %), mientras que el resto de equipos no.

**Tabla 15***Horas faltantes*

<b>Indicadores</b>	<b>Resultado</b>
Media	120,573214
Error típico	14,6074366
Mediana	112,02
Moda	#N/A
Desviación estándar	77,2952892
Varianza de la muestra	5974,56173
Curtosis	-0,94308578
Coefficiente de asimetría	0,0869117
Rango	278,7
Mínimo	-26,9
Máximo	251,8
Suma	3376,05
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0 %)	29,9719839

En esta tabla se presentan los estadísticos descriptivos de las horas faltantes o tiempo que no se llegó a cumplir, medido como la diferencia entre las horas programadas para el mantenimiento programado o frecuencia PM, y las horas PM, que se definen como el tiempo transcurrido entre las horas acumuladas hasta el último mantenimiento programada y las horas acumuladas hasta la fecha del reporte; es decir,  $HF = \text{Frecuencia PM} - \text{Horas PM}$ . En este caso, el promedio es de 120,6 horas, con una desviación estándar de 77,3 horas, y la mediana es 112 horas. Debido a que los datos de esta distribución son valores que se definen en función de las horas PM, los valores de la curtosis y del coeficiente de asimetría

son los mismos que los de la distribución de horas PM. De todos modos, al igual que en lo que corresponde a horas PM, se verifica una mayor uniformidad de la distribución, en tanto la diferencia entre media y mediana se reduce a sólo ocho horas. Este dato es relevante en la medida que permite aproximarse a uno de los aspectos que definen el rendimiento no alcanzado o rendimiento perdido, que es finalmente el indicador que se quiere alcanzar.

**Tabla 16**

*Horas faltantes por equipo*

<b>Equipo</b>	<b>X</b>	<b>DE</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>
Tractor	96,53	108,102	11685,9	111,98
Excavadora	151,33	64,817	4201,24	42,831
Retroexcavadora	50,50	47,7004	2275,33	94,456
Cargador frontal	127,30	75,2959	5669,47	59,148
Motoniveladora	251,80	0	0	0
Rodillo liso	128,55	122,542	15016,4	95,326
Volquete	106,28	77,5198	6009,33	72,938
Mixer	200,50	58,6899	3444,5	29,272
Grupo electrógeno	89,63	15,1579	229,763	16,911
Compresora	144,97	45,1558	2039,05	31,148
Bomba de concreto	152,70	0	0	0

*Nota:* X= Valor medio de un conjunto de datos; DE= Desviación estándar de un conjunto de datos; Var= Varianza estadística; CV= Coeficiente de variación de Pearson.

Al analizar las horas faltantes y considerando el grueso de los equipos de maquinaria pesada de la empresa, aparte de la motoniveladora y la bomba de concreto, se identifica que los valores promedio oscilan entre las 50,5 horas de las retroexcavadoras hasta las 200 horas de los mixer. Estos datos muestran que los mixer debieron ser atendidos mucho antes de lo que correspondía según programación. En lo que concierne al comportamiento de los equipos, sólo los

grupos electrógenos muestran un comportamiento bastante homogéneo al faltarles un promedio de horas que se dispersa muy poco (CV = 16,9 %).

#### 4.1.3. Análisis de rendimiento de maquinaria pesada

**Tabla 17**

*Rendimiento efectivo*

<b>Considerando tiempo programado</b>				
<b>General</b>	<b>Horas PM</b>	<b>Horas programadas</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Índice</b>
IG(x)	129,4	250	120,6	0,482
IG(me)	137,98	250	11,0	0,448
<b>Índices de rendimiento efectivo por equipo</b>				
<b>Equipo</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Índice</b>
Tractor	15,5	250	96,533	0,386
Excavadora	98,7	250	151,333	0,605
Retroexcavadora	217,4	250	32,567	0,130
Cargador frontal	122,7	250	127,300	0,509
Motoniveladora	1,8	250	248,200	0,072
Rodillo liso	121,5	250	128,550	0,514
Volquete	143,7	250	106,282	0,425
Mixer	49,5	250	200,500	0,802
Grupo electrógeno	160,4	250	89,633	0,359
Compresora	105,0	250	144,970	0,580
Bomba de concreto	97,3	250	152,700	0,611

*Nota:* X=Valor medio de un conjunto de datos; X1= Valor medio que miden el rendimiento efectivo; X2= Valor medio que mide el rendimiento esperado; IG= Índice general; me= Media aritmética.

En esta tabla se presenta el cálculo del índice de rendimiento efectivo. Con este índice, el rendimiento efectivo se analiza desde dos perspectivas: como una medida global, que toma en cuenta el rendimiento general del conjunto de equipos; y como una medida por tipo de equipos, que toma en cuenta el promedio del rendimiento por grupo de equipos. En la perspectiva global, se ofrecen dos medidas que describen el conjunto: la media aritmética o promedio, y la mediana. Sobre la base de la media, la diferencia entre horas PM y horas programadas se calcula en 120,6 horas, que arroja un índice global de rendimiento efectivo de 0,482 o 48,2 %. Sin embargo, dadas las características de la distribución de las horas PM, que limitan una interpretación adecuada de la situación en función de la media, se calcula tanto la diferencia como el índice global de rendimiento efectivo en función de la mediana. Sobre la base de este estadístico, la diferencia entre horas PM y horas programadas se calcula en 112 horas, que arroja un índice global de rendimiento efectivo de 0,448 o 44,8 %. Ambas medidas muestran un rendimiento efectivo que no llega ni siquiera al 50 % de lo esperado. En el análisis por equipos, se identifica el índice de rendimiento efectivo para cada grupo de maquinaria. Los índices más altos corresponden a los mixer, que alcanzan un índice de 0,802 u 80,2 %, seguido de lejos por la bomba de concreto (0,611), las excavadoras (0,605), la compresora (0,58), los rodillos lisos (0,514) y los cargadores frontales (50,9). En todos los demás equipos, los índices son menores que 0,5. De todos modos, aun cuando en los equipos señalados se identifica un índice de rendimiento efectivo muy superior a los de otros equipos, se debe hacer notar que, en ninguno de los casos, alguno de los grupos de equipos alcanzó un índice de rendimiento efectivo siquiera próximo a 0,9 o 90 %.

**Tabla 18***Rendimiento esperado*

<b>Considerando tiempo programado</b>				
<b>General</b>	<b>HAUPM</b>	<b>Horas programadas</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Índice</b>
IG(x)	6009,982	6259,982	250,0	0,040
IG(me)	3788,15	4038,15	250,0	0,062
<b>Índices de rendimiento esperado por equipo</b>				
<b>Equipo</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Índice</b>
Tractor	4770,5	5020,53	250,0	0,050
Excavadora	2805,4	3055,43	250,0	0,082
Retroexcavadora	6606,7	6856,70	250,0	0,036
Cargador frontal	10607,2	10857,17	250,0	0,023
Motoniveladora	2271,9	2521,90	250,0	0,099
Rodillo liso	6193,2	6443,20	250,0	0,039
Volquete	5414,0	5664,03	250,0	0,044
Mixer	22129,2	22379,15	250,0	0,011
Grupo electrógeno	1687,2	1937,23	250,0	0,129
Compresora	1400,8	1650,78	250,0	0,151
Bomba de concreto	60,0	310,00	250,0	0,806

Nota: X=Valor medio de un conjunto de datos; X1= Valor medio que miden el rendimiento efectivo; X2= Valor medio que mide el rendimiento esperado; IG= Índice general; me= Media aritmética

En esta tabla se presenta el cálculo del índice de rendimiento esperado, que se define como la diferencia entre las horas estimadas y las horas acumuladas hasta el último mantenimiento (la línea de base) en función de ésta última. Con este índice, y al igual que con el rendimiento efectivo, el rendimiento esperado se analiza también como una medida general, que toma en cuenta el rendimiento estimado para el conjunto de equipos; y como una medida por tipo de equipos, que toma en cuenta el promedio de tiempo estimado por grupo de equipos. En la perspectiva global, se ofrecen como medidas descriptivas del conjunto, la media aritmética y la mediana. Sobre la base de la media, se calcula un índice global de rendimiento

esperado de 0,040 o 4 %. Y sobre la base de la mediana, se calcula un índice global de rendimiento efectivo de 0,062 o 6,2 %. Considerando estas medidas, se puede decir que se espera un rendimiento bastante limitado. En el análisis por equipos, se identifica el índice de rendimiento esperado para cada grupo de maquinaria. El índice más alto corresponde a la bomba de concreto, para la cual se ha propuesto una meta equivalente al 80,6 % del valor de base. Siguen en importancia la compresora, con 15,1 % y los grupos electrógenos, con 12,1 %. En el resto de casos, el rendimiento esperado es bajísimo respecto del valor de base

## **4.2. Contratación de hipótesis**

### **4.2.1. Primera hipótesis específica**

El enunciado de la primera hipótesis específica expresa:

$H_1$  : El rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es alto.

En forma operacional, la hipótesis se plantea como sigue:

$H_1$  : La proporción de la categoría “alto” es mayor que la proporción de otras categorías.

$H_{1.0}$  : La proporción de la categoría “alto” no es mayor que la proporción de otras categorías.

Dado que se trata de probar que una proporción es mayor que otra en una sola muestra, se aplica la prueba Z de una muestra para la proporción. Esto significa que para que la hipótesis se cumpla, se debe encontrar un valor Z empírico ( $Z_e$ ) mayor que un valor Z crítico ( $Z_c$ ). La prueba es de un extremo. Considerando un nivel de significancia de 0,05, el valor crítico es 1,645. La regla de decisión es:

Rechazar  $H_0$  si  $Z_e > 1,645$

En términos operacionales, la hipótesis se expresa como sigue:

$$H_1 : Z_e > Z_c$$

$$H_{1,0} : Z_e \leq Z_c$$

Del análisis de la información, se tiene:

**Tabla 19**

*Distribución del rendimiento efectivo por niveles*

<b>Rendimiento efectivo (nivel)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bajo	19	67,9
Alto	9	32,1
Total	28	100,0

**Tabla 20**

*Prueba de diferencia de proporciones para las categorías de rendimiento efectivo*

<b>Rendimiento efectivo</b>	<b>ps</b>	<b>p</b>	<b>Z empírico</b>	<b>Z teórico</b>	<b>Sig.</b>	<b>Decisión</b>
Alto	0,321	0,679	-4,0465	1,6450	0,0001	Se rechaza
Bajo	0,679	0,321	4,0465	1,6450	0,0001	Se acepta

*Nota:* Ps= Valor “p” muestral; p= Valor “p” poblacional; Sig.= Valor sigma, refleja el valor entre la mediana y los valores muestrales máximo o mínimo.

De los datos de la prueba, se tiene que el valor Z empírico es mucho menor que el valor Z crítico, pero altamente significativo. Esto implica que la proporción del nivel alto no es mayor que la proporción de otras categorías; es más, es significativamente menor que la proporción de otras categorías.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis propuesta,  $H_1$ , y se acepta la hipótesis nula,  $H_0$ .  
El rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, no es alto.

#### **4.2.2. Segunda hipótesis específica**

El enunciado de la segunda hipótesis específica expresa:

$H_2$  : El rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es alto.

En forma operacional, la hipótesis se plantea como sigue:

$H_2$  : La proporción de la categoría “alto” es mayor que la proporción de otras categorías.

$H_{2.0}$  : La proporción de la categoría “alto” no es mayor que la proporción de otras categorías.

Dado que se trata de probar que la proporción de la categoría “alto” es mayor que otra en una sola muestra, se aplica la prueba Z de una muestra para la proporción. Esto significa que, para que la hipótesis se cumpla, se debe encontrar un valor Z empírico ( $Z_e$ ) mayor que un valor Z crítico ( $Z_c$ ). La prueba es de un extremo. Considerando un nivel de significancia de 0,05, el valor crítico es 1,645.

La regla de decisión es:

Rechazar  $H_0$  si  $Z_e > 1,645$

En términos operacionales, la hipótesis se expresa como sigue:

$H_2$  :  $Z_e > Z_c$

$H_{2.0}$  :  $Z_e \leq Z_c$

**Tabla 21***Distribución del rendimiento esperado por niveles*

<b>Rendimiento efectivo (nivel)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bajo	19	67,9
Alto	9	32,1
Total	28	100,0

**Tabla 22***Prueba de diferencia de proporciones para las categorías de rendimiento esperado*

<b>Rendimiento esperado</b>	<b>ps</b>	<b>p</b>	<b>Z empírico</b>	<b>Z teórico</b>	<b>Sig.</b>	<b>Decisión</b>
Alto	0,321	0,679	-4,0465	1,6450	0,0001	Se rechaza
Bajo	0,679	0,321	4,0465	1,6450	0,0001	Se acepta

*Nota:* Ps= Valor “p” muestral; p= Valor “p” poblacional; Sig.= Valor sigma, refleja el valor entre la mediana y los valores muestrales máximo o mínimo.

De los datos de la prueba, se tiene que el valor Z empírico para la categoría “alto” es mucho menor que el valor Z crítico, pero altamente significativo. Esto implica que la proporción de la categoría alto no es mayor que la proporción de la categoría bajo; es significativamente menor que la proporción de esta categoría. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis propuesta,  $H_2$ , y se acepta la hipótesis nula,  $H_0$ . El rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, no es alto.

### **4.3. Discusión de resultados**

#### **4.3.1. En torno al abordaje del estudio**

Para efectos del estudio, se analizaron dos variables de rendimiento de la maquinaria pesada de la empresa: rendimiento efectivo y rendimiento esperado.

Para definir estas variables, se establecieron tres líneas de análisis en torno a la información recogida; primero, una línea de base, determinada por las horas acumuladas hasta el último mantenimiento programado; segundo, una línea de corte, expresada por medio de las horas acumuladas hasta la fecha del reporte; y una línea final, expresada por las horas acumuladas esperadas después del reporte.

Sobre la base de las mediciones efectuadas en estas líneas temporales, se definió el rendimiento efectivo como el tiempo de funcionamiento de la maquinaria pesada durante el periodo comprendido entre el último mantenimiento programado y la fecha del reporte. Se mide como la diferencia entre las horas acumuladas hasta la fecha del reporte y las horas acumuladas hasta el último mantenimiento programado. Se definió, asimismo, el rendimiento esperado como el tiempo de funcionamiento de la maquinaria pesada durante el periodo comprendido entre la fecha del reporte y el tiempo acumulado después del reporte. Se mide como la diferencia entre las horas acumuladas esperadas después del reporte y las horas acumuladas hasta la fecha del reporte. Además, se pudo determinar el rendimiento perdido como el tiempo que la maquinaria pesada dejó de funcionar durante el periodo comprendido entre la fecha del reporte y el tiempo acumulado después del reporte. Y se mide como la diferencia entre las horas para el próximo mantenimiento programado y las horas efectivas entre el último mantenimiento programado y la fecha del reporte.

#### **4.3.2. En torno a los resultados**

Considerando lo expresado, el rendimiento efectivo alcanzó un promedio de 129,4 horas, con una desviación estándar de 77,3 horas, y con la mitad de los equipos que se ubica por debajo de las 138 horas, mientras que la otra mitad alcanza un

rendimiento superior a este valor. Al analizar esta variable en función de los equipos, se encontró que sólo los grupos electrógenos muestran un comportamiento bastante homogéneo ( $CV = 9,4 \%$ ). Considerando el índice de rendimiento efectivo, sobre la base de la media, la diferencia entre las horas del próximo mantenimiento y las horas programadas fue 120,6 horas, que definen un índice de rendimiento efectivo de 0,482 o 48,2 %.

Por otro lado, el rendimiento esperado, para efectos del análisis, se identificó con la frecuencia de próximo mantenimiento, que corresponde a 250 horas. En función de este dato y el que corresponde al rendimiento efectivo, se identificó el rendimiento perdido como horas faltantes entre el tiempo efectivo y el tiempo programado según frecuencia de próximo mantenimiento. En este caso, identifica en 129,4 horas, que arroja un índice global de pérdida de 0,518 o 51,8 %, que representa una proporción muy alta.

A partir de los resultados encontrados, se desconforman las dos hipótesis específicas propuestas y, en consecuencia, la hipótesis general. En ese sentido no se encontró ni rendimiento efectivo ni rendimiento esperado alto, sino más bien bajo. Por otro lado, en cuanto al rendimiento perdido que fue planteada no se encontró evidencia suficiente para considerar que uno de los niveles de la variable (el nivel alto) haya alcanzado una proporción significativamente superior a la de la otra categoría (nivel bajo).

Los resultados encontrados se distancian de otras experiencias mineras, como la que describen Maldonado y Sigüenza (2012), en Cuenca, Ecuador, en cuanto a la necesidad de realizar los procesos de reparación y fabricación de

máquinas en el propio taller de la empresa, a fin de disminuir los tiempos muertos en reparaciones y en costos de mantenimiento.

Por otro lado, aunque en la empresa analizada existe un plan de mantenimiento, se hace evidente que éste tiene altibajos que sugieren una revisión en función de los datos encontrados. En este sentido, es posición común de diferentes autores la propuesta de planes de mantenimiento preventivo a fin de conseguir mayor disponibilidad de los equipos, debido a la corrección más frecuente y optimizada de daños prematuros, como sostienen Hernández y Sanabria (2011) y Hernández (2010). Pero, para ello, es necesario que en todo plan de mantenimiento preventivo se haga un registro fiel de los trabajos o servicios que se han realizado a cualquier maquinaria o equipo consecutivamente, como expresa Suniaga (2010).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Se puede ver que el rendimiento efectivo siempre es más bajo que el rendimiento esperado de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, por lo tanto, esto nos indica que se deben de hacer las correcciones técnicas necesarias para el buen funcionamiento de esta maquinaria.

**Segunda.** Teniendo en cuenta que el rendimiento efectivo de esta maquinaria es inferior al esperado, esto nos indica que existe deficiencia en los recursos utilizados, como son la buena programación de horas de trabajo, aplicación oportuna de los planes de mantenimiento, condiciones de terreno de trabajo de la maquinaria.

**Tercera.** El rendimiento efectivo de la maquinaria pesada de C y M Vizcarra en la mina San Rafael, San Román, Juliaca, Puno, es bajo. Esto se verifica en la proporción que alcanza este nivel, de 0,679, significativamente mayor que la proporción del nivel alto ( $Z_e = 4,065$ ;  $p = 0,000$ ); y en el índice general de rendimiento efectivo, de sólo 44,8 %, que la proporción del

nivel alto ( $Z_e = 4,065$ ;  $p = 0,000$ ); y en el índice general de rendimiento efectivo, de sólo 44,8 %.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Proponer la formulación de un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada que considere no sólo los tiempos especificados por los fabricantes de los equipos, sino una concepción ajustada a las circunstancias específicas de la operación en la mina en la cual se trabaja, en tanto los niveles de rendimiento que se habían estimado como supuestos no se confirmaron.

**Segunda.** Analizar en detalle y en función de periodos mayores al trabajado la información recogida respecto de la maquinaria pesada utilizada en mina, con el objeto de identificar los factores específicos que influyen en el rendimiento efectivo de la maquinaria, a fin de establecer en plan de mantenimiento una previsión adecuada del funcionamiento de los equipos que no los ponga en riesgo ni resulte oneroso para la empresa.

**Tercera.** Especificar en el plan de mantenimiento los procedimientos específicos que permitan estimar con mayor precisión y relación con la maquinaria, el rendimiento esperado, a fin de reducir el tiempo entre las horas programadas y las horas efectivas de trabajo por equipo.

**Cuarta.** Respetar las prescripciones del plan de mantenimiento modificado a fin de reducir la pérdida de rendimiento, que en la operación bajo las formas actuales se mantiene en niveles no adecuados, como es de esperarse.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroeta, L.A. (1999). *Calidad de gestión en una empresa de servicio de mantenimiento de maquinaria pesada*.
- Berenson, M.L. y Levine, D.M. (1996). *Estadística básica en administración. Conceptos y aplicaciones*. México: Pearson Educación.
- Galindo, A.M. y Hernández, J.C. (2005). *Programa de control y mantenimiento preventivo de equipos de transporte para la firma Nacional de Pavimentos Ltda*. Trabajo para optar la especialización en Gerencia de Producción y Operaciones. Universidad de la Sabana, Chía, Cundimarca, Colombia.
- Gallardo L. P. (2007). *Programa de control de mantenimiento “Control Mant”*. *Plan de mantenimiento para empresas “Control Mant”*. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de: <http://infotecniaequiposmineros.freeconfigbox.com/Pdf/Control%20Mant%20Programa.pdf>
- Hernández, V.A. (2010). *Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial No. 14, Dirección General de Caminos, Salamá, Baja Verapaz*. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Hernández, H.D. y Sanabria, H.R. (2011). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Gobernación de Casanare*. Tesis para optar el título de especialista en gerencia de mantenimiento. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías

Físico Mecánicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006) *Metodología de la investigación*. Bogotá: MC Graw - Hill Interamericana Editores.

Herrera, J. (2009). *Introducción al mantenimiento minero*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Recuperado de [http://oa.upm.es/10485/1/INTRODUCCION\\_AL\\_MANTENIMIENTO\\_MINERO-090320.pdf](http://oa.upm.es/10485/1/INTRODUCCION_AL_MANTENIMIENTO_MINERO-090320.pdf)

Ibarra, M., Núñez, E. y Huerta, J.M. (2010). *Manual de mantenimiento. Manual para la recuperación y protección antidesgaste de piezas*. Santiago de Chile: INDURA S.A., Industria y Comercio.

Kiley, D. (2007). *BMW desde dentro. Las claves de la empresa automovilística más admirada*. Bogotá: Editorial Planeta Colombiana S.A.

Madera, J., García, L., Eguidazu, J.L. y Martínez, M. (2011). Seguridad en minería. *La mutua*. Recuperado de: [http://www.fraternidad.com/descargas/FM-REVLM-22-08\\_1816\\_Articulo05\\_22.pdf](http://www.fraternidad.com/descargas/FM-REVLM-22-08_1816_Articulo05_22.pdf)

Maldonado, H.M. y Sigüenza, L.A. (2012). *Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del cantón Portovelo*. Tesis para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico Automotriz. Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Malpica C. (2014). *Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca*.

Trabajo de tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú.

Mamani, R. (2008). *Maquinaria y equipo de construcción CIV 247*. Facultad de Ingeniería, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Minería on line. (2013). En 2012 compra de bienes de capital del sector minero aumentó 35.5%. *Minería* 426, marzo 2013. Disponible en: <http://www.mineriaonline.com.pe/adminmine/filepdf/426%20Informativo%201.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Plan estratégico institucional del Viceministerio de Minas al 2021*. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/planestrategico.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (2013) *Perú país minero*. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159>

Luigui, G. (2014). *Análisis del rendimiento de maquinaria pesada en labores de encauzamiento y descolmatación de los ríos Yucaes, Pongora y Llamocctacid, Ayacucho Huancavelica 2013*. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Agrícola. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho Perú.

Olives, R. (2006). *Mantenimiento preventivo*. Barcelona: Departamento de Empresa y Empleo, Generalitat de Catalunya. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de: <http://www20.gencat.cat/docs/empresaiocupacio/03%20->

%20Centre%20de%20documentacio/Documents/01%20%20Publicacions/06%20%20Seguretat%20i%20salut%20laboral/Arxius/QP%20Mantenimen%20Preventiu%20CAST.pdf

Paredes, J. (2004). Metodología de la investigación (Materiales de lectura). Arequipa (Perú): Universidad Católica Santa María.

Pérez, C. (2005). *Técnicas estadísticas con SPSS 12. Aplicaciones al análisis de datos*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Roberto V, (1999). *La maquinaria pesada en movimiento de tierras* (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de la Construcción de México (Distrito Federado).

Roberts, J.W. (2009). *Historia Universal*. RBA Edipresse, S.L.

Ruiz, J.D. (2009). *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inverglobal INC Ltda.* (Tesis de grado) Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, Barranca Bermeja, Santander, Colombia.

Silva, C.E. (2007). *Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre*. (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/819/1/6200046S586ds.pdf>

Suniaga, L.M. (2010). *Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuelan Heavy Industries*

C.A. (VHICOA). (Tesis de grado) Universidad Nacional Experimental de Guayana, Ciudad Guayana, Venezuela.

Toledo, I. (1998). *Estadística*. Madrid: Pearson Educación.

Velásquez, A. (2008). *Establecimiento de un efectivo programa de mantenimiento preventivo*. Monografías.com. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de: <http://www.monografias.com/trabajos88/mantenimiento-preventivo-parte-1/mantenimiento-preventivo-parte-1.shtml>

Velásquez, Á. y Rey, N. (1999). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

Walton, M. (1988). *Cómo administrar con el método Deming*. Bogotá: Norma.