



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**IMPACTO DEL UPGRADE DEL VARIADOR DE VELOCIDAD PARA  
BOMBA DE CICLONES EN LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS,  
ÁREA DE MOLIENDA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE  
SOUTHERN PERÚ, CUAJONE (MOQUEGUA), 2015.**

**PRESENTADA POR:**

**FREDDY JULIÁN CENTENO CABANA**

**ASESOR:**

**WILLIAM CAMPOS LIZARZABURU**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERIA  
MECANICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2017**

## RESUMEN

Este estudio se propuso como objetivo analizar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la disponibilidad de equipo, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). Para ello, se planteó un estudio mixto con predominio del enfoque cuantitativo, de tipo no experimental de corte explicativo, con diseño causal comparativo. Se trabajó con una muestra de 126 órdenes de trabajo generadas para la bomba de alimentación de ciclones molino 1B, en el área de molienda de la planta concentradora, generadas entre enero de 2008 y diciembre de 2014. Para la recolección de datos, se utilizó la técnica del análisis documental, y se utilizó como fuente el *Registro de órdenes de trabajo* de la bomba señalada. Para el análisis de datos se aplicó análisis categorial, estadísticos descriptivos y prueba de diferencia de proporciones para la *razón de mantenimiento*, el *motivo consignado para mantenimiento* y la *causal de paro*; y estadísticos descriptivos y prueba para dos muestras independientes para la *duración de parada por equipo* y las *horas hombre por parada*. Como conclusión general, se encontró que el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto significativo en la disponibilidad de equipos, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). En ese sentido, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no demostró impacto en ninguna de las cinco dimensiones de disponibilidad analizadas.

Palabras clave

Variador de velocidad, bomba de ciclones, motivo consignado, causal de paro, duración de parada por equipo, horas hombre por parada.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the impact of the variable speed drive upgrade for cyclone pump equipment availability in the grinding area of the concentrator plant of Southern Peru, Cujone (Moquegua). To this end, a joint study predominance of quantitative approach, non-experimental cutting explanatory, with causal comparative design was raised. We worked with a sample of 126 work orders generated for the pump feed mill cyclones 1B, in the grinding area of the concentrator plant of Southern Peru, Cujone (Moquegua), generated between January 2008 and December 2014. To data collection, document analysis technique was used and was used as a source Registry work orders pointed bomb. The data analysis was done through categorical analysis, descriptive statistical and test of difference of proportions for maintenance reason, the reason reported for maintenance and grounds for arrest; and using descriptive statistics and test for two independent samples for the duration of stop by equipment and man hours per stop. As a general conclusion, it was found that the variable speed drive upgrade for pump cyclones has not had a significant impact on the availability of equipment in the grinding area of the concentrator plant of Southern Peru, Cujone (Moquegua). In that sense, the upgrade of the variable speed pump cyclones has no impact on the reason for maintenance, in the consigned reason for maintenance, in the causal stop, duration of stop of equipment, or man hours per stop.

## Keywords

Variable speed drive, pump ciclones, consigned reason, causal stop, duration of stop of equipment, manhours per stop.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.1.1. Antecedentes del problema .....	1
1.1.2. Problemática de la investigación.....	4
1.2. Definición del problema.....	6
1.2.1. Problema general.....	6
1.2.2. Preguntas específicas .....	6
1.3. Justificación e importancia.....	7
1.4. Alcances y limitaciones.....	9
1.5. Objetivos .....	10
1.5.1. Objetivo general .....	10
1.5.2. Objetivos específicos .....	10
1.6. Variables .....	11
1.6.1. Identificación de variables .....	11
1.6.2. Operacionalización de variables .....	11

1.7. Hipótesis.....	13
1.7.1. Hipótesis general.....	13
1.7.2. Hipótesis específicas.....	13
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Antecedentes del estudio.....	15
3.2. Bases teóricas.....	20
3.2.1. El marco de la gestión del mantenimiento.....	20
3.2.2. Confiabilidad.....	22
3.2.3. Disponibilidad.....	26
3.2.4. Mantenibilidad.....	28
3.2.5. El variador de velocidad 1557.....	30
3.2.6. El PowerFlex7000.....	32
3.3. Definición de términos.....	35
CAPÍTULO III.....	37
MARCO MÉTODOLÓGICO.....	37
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	37
3.2. Población y muestra.....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	38
CAPÍTULO IV.....	43
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
4.1. Presentación de resultados.....	43
4.1.1. Impacto en la razón de mantenimiento.....	43
4.1.2. Impacto en el <i>motivo consignado para mantenimiento</i> .....	51
4.1.3. Impacto en la causal de paro.....	59

4.1.4. Impacto en la duración de parada por equipo .....	67
4.1.5. Impacto en las horas hombre por parada.....	77
4.2. Contratación de hipótesis .....	87
CONCLUSIONES .....	104
RECOMENDACIONES .....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109
ANEXOS .....	113
Anexo 1. Matriz de consistencia .....	114
MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	114
Anexo 2. Análisis de la normalidad de las variables .....	116
Anexo 3. Formato del instrumento de recolección de datos .....	117
Anexo 4. Registro de órdenes de trabajo .....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	12
Tabla 2	Distribución de frecuencias de la <i>razón de mantenimiento</i> durante el periodo de uso del VV 1557	43
Tabla 3	Distribución de frecuencias de la <i>razón de mantenimiento</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	45
Tabla 4	Identificación de categorías compartidas de la <i>razón de mantenimiento</i> , periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000	47
Tabla 5	Efecto del variador de velocidad en la <i>razón de mantenimiento</i>	48
Tabla 6	Distribución de frecuencias del <i>motivo consignado de mantenimiento</i> durante el periodo de uso del VV 1557	51
Tabla 7	Distribución de frecuencias del <i>motivo consignado de mantenimiento</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	53
Tabla 8	Identificación de categorías compartidas del <i>motivo consignado de mantenimiento</i> , periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000	55
Tabla 9	Efecto del variador de velocidad en el <i>motivo consignado de mantenimiento</i>	56
Tabla 10	Distribución de frecuencias del <i>causal de paro</i> durante el periodo de uso del VV 1557	59
Tabla 11	Distribución de frecuencias del <i>causal de paro</i> durante el periodo de uso del VV Power Flex 7000	61

Tabla 12	Identificación de categorías compartidas del <i>causal de paro</i> , periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000	63
Tabla 13	Efecto del variador de velocidad en la <i>causal de paro</i>	64
Tabla 14	Estadísticos descriptivos de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del VV 1557	67
Tabla 15	Estimadores de la mediana de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del VV 1557	69
Tabla 16	Estadísticos descriptivos de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	71
Tabla 17	Estimadores de la mediana de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	73
Tabla 18	Efecto del variador de velocidad en la <i>duración de parada de</i> <i>equipo</i>	75
Tabla 19	Estadísticos descriptivos de las <i>horas hombre por parada</i> durante el periodo de uso del VV 1557	77
Tabla 20	Estimadores de la mediana y percentiles de las <i>horas hombre</i> <i>por parada</i> durante el periodo de uso del VV 1557	79
Tabla 21	Estadísticos descriptivos de las <i>horas hombre por parada</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	81
Tabla 22	Estimadores de la mediana y percentiles de las <i>horas hombre</i> <i>por parada</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	83
Tabla 23	Efecto del variador de velocidad en las <i>horas hombre por</i> <i>parada</i>	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Frecuencias de la <i>razón de mantenimiento</i> con VV 1557	44
Figura 2	Frecuencias de la <i>razón de mantenimiento</i> con VV Power Flex 7000	45
Figura 3	Frecuencias del <i>motivo consignado de mantenimiento</i> con VV 1557	51
Figura 4	Frecuencias del <i>motivo consignado de mantenimiento</i> con Power Flex 7000	53
Figura 5	Frecuencias de la <i>causal de paro</i> con VV 1557	59
Figura 6	Frecuencias de la <i>causal de paro</i> con Power Flex 7000	61
Figura 7	Histograma de frecuencias de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del VV 1557	67
Figura 8	Histograma de frecuencias de la <i>duración de parada de equipo</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	72
Figura 9	Histograma de frecuencias de las <i>horas hombre por parada</i> durante el periodo de uso del VV 1557	78
Figura 10	Histograma de frecuencias de las <i>horas hombre por parada</i> durante el periodo de uso del Power Flex 7000	81

## INTRODUCCIÓN

En los últimos decenios, la actividad minera se ha incrementado de manera importante en el mundo, sobre todo en países que cuentan con amplios recursos naturales. Históricamente, el Perú es uno de esos países, cuyos vínculos con la minería han sido objeto de variadas interpretaciones, tanto a favor como en contra de que se sigan explotando los recursos con que cuenta (Glave y Kuramoto, 2007). Sin embargo, en un marco en el cual se ha aceptado que la minería puede convivir con actividades más tradicionales, la minería en el Perú se ha constituido en uno de sus importantes campos de expansión.

Precisamente, en ese marco de expansión, las empresas mineras buscan mejorar la tecnología extractiva y de procesamiento con que cuentan, a fin de ser más rentables y competitivas (Frech, 2015), como una forma de introducir una corrección del ciclo de precios altos que se vivió hasta el 2014 (Burga, 2016). En ese proceso, se toman decisiones que implican fusiones a nivel de organización, reorganización de la estructura organizacional, innovaciones de procesos o adquisiciones de maquinaria y equipo que permitan mejorar las operaciones, y otras muchas acciones, con el único objeto de mejorar sus indicadores de eficacia.

La empresa minera Southern Peru no es ajena a este marco de mejoramiento continuo de sus operaciones, y para ello procuran que los bienes adquiridos se correspondan con las necesidades operativas que requieren. Sin embargo, aun cuando se trata de empresas con presupuestos millonarios en sus adquisiciones, los resultados esperados no necesariamente son lo suficientemente positivos, como para juzgar como apropiada una decisión tomada en ese curso.

Este estudio se ubica en ese marco y procura evaluar, a posteriori, la eficacia de las operaciones de una de las adquisiciones de la empresa Southern Perú, en este caso un dispositivo variador de mediana tensión de uso general, Power Flex 7000, que se destinó al área de molienda ubicada en Cuajone, Moquegua. Este variador fue adquirido el año 2010 para reemplazar el variador de velocidad 1557 con el que se contaba, y se puso en funcionamiento en los primeros meses del año 2011.

A pesar del tiempo transcurrido, de la inversión efectuada y del uso que se da al dispositivo, nunca se ha intentado siquiera verificar si su puesta en marcha ha significado una diferencia respecto de su predecesor. En ese sentido, aun cuando se trata de una empresa de gran envergadura, la experiencia que rodea a la adquisición de este dispositivo da cuenta de una situación que no cabe esperar en una organización del tamaño y calibre de Southern Perú.

Este estudio nace de esa inquietud, y se propone como objetivo analizar el impacto que el variador de velocidad ha tenido en la disponibilidad de los equipos que dependen de su funcionamiento. En este caso, como un primer acercamiento a la eficacia del upgrade del variador de velocidad, se ha elegido un equipo de trabajo, una bomba de ciclones que se utiliza en el área de molienda de la empresa. Y en torno a ese equipo se analiza el impacto del supuesto mejoramiento efectuado en cinco variables cuyos registros se llevan normalmente: la razón por la cual se efectúa el mantenimiento (que hemos denominado *razón de mantenimiento*); la situación que se identifica como propiciatoria del mantenimiento (que hemos denominado *motivo consignado para mantenimiento*); la causa identificada por la que se produjo el paro del equipo (que hemos

denominado *causal de paro*); la duración de la parada por equipo; y las horas hombre que significa cada parada.

Cabe destacar que, aun cuando en el análisis realizado se han aplicado diferentes estrategias metodológicas para verificar el impacto esperado, y en ese sentido, se ha apelado a información debidamente registrada en la empresa y no un procedimiento de criterios distintos de los utilizados por la misma empresa, los resultados avanzan en una dirección distinta de lo que cabe esperar. En ese sentido, se refuta la hipótesis de partida, y se arriba a un conjunto de conclusiones cuyo sentido no se esperaba.

Para efectos de presentación, se ha dividido el informe en los siguientes capítulos: Capítulo I, en el que se presenta la problemática que se aborda en este estudio; en este capítulo se presentan las preguntas de investigación, los objetivos de investigación, las variables de estudio, las hipótesis, y se exponen las razones que sustentan la realización del estudio. Capítulo II, Marco teórico, donde se presentan las bases teóricas que sustentan las variables de estudio. Capítulo III, donde se presenta los aspectos metodológicos que guían el proceso de investigación. Capítulo IV, donde se presentan y analizan los resultados y se contrastan las hipótesis formuladas. Siguen los apartados de Conclusiones y Recomendaciones, el primero de los cuales recoge las conclusiones del estudio, mientras que en el segundo se plantean las recomendaciones que se formularon a partir de los resultados encontrados. Se concluye con un apartado destinado a exponer los anexos del estudio, entre los cuales se adjunta el registro de órdenes de trabajo, el

instrumento de recolección de datos y algunos procedimientos estadísticos previos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Antecedentes del problema**

Durante los últimos años, la actividad minera ha crecido de manera significativa en el mundo, y el Perú se ha constituido en uno de sus importantes campos de expansión (De Echave, Diez, Huber, Revesz, Lanata y Tanaka, 2009). El país posee considerables reservas, cuya explotación se vuelve rentable a medida que el precio de los metales en el mercado internacional se incrementa (Burga, 2016), aun cuando en algunos casos y después de ciertos periodos de crecimiento, pueda registrarse una contracción de la demanda de los mismos, como efectivamente ha sucedido en el periodo 2013 – 2015 (Mejía, 2015). En este contexto, los gobiernos sucesivos han implementado progresivamente, desde 1990, una serie de reformas destinadas, en primer lugar, a facilitar las inversiones orientadas a la explotación de los recursos mineros, con miras al desarrollo nacional (Chávez, 2015), y, en segundo lugar, a reducir los impactos negativos que pudiera tener esta explotación (Tanaka et al., 2007).



Sin embargo, después de un periodo de crecimiento relativamente constante, lo que ocurrió en proporciones importantes, en los últimos años han disminuido los precios internacionales de los metales (Burga, 2016), lo cual ha tenido un impacto directo en el comportamiento del sector minero en el Perú. Así, la producción minera del año 2014 mostró variaciones importantes en los precios de ciertos metales en comparación con el 2013, mientras que la producción del 2015 puso en evidencia una más acentuada declinación respecto de los años anteriores.

En ese marco, como señala De Echave et al. (2009), las grandes empresas mineras que operan en el país se han esforzado por prestar atención a las relaciones que sostienen con las poblaciones de los lugares donde realizan sus actividades, como ha sucedido en Perú. Pero, al mismo tiempo, según explica Casas (2015), estas empresas han tomado decisiones internas, respecto de diferentes factores (personal, maquinaria, intervención social), con la intención de fortalecer sus operaciones y desempeño. Esto se hace con miras a una reactivación de su presencia como empresas extractivas (Chávez, 2015). Y se ha verificado en diferentes escenarios, que van desde los países eslavos, hasta los países sudamericanos, entre ellos, Perú, Chile, Ecuador, entre otros.

Southern Peru Cooper Corporation no es ajena al comportamiento de este panorama. En la medida que se trata de uno de los productores de cobre con integración vertical y horizontal más grandes del mundo, que produce cobre, molibdeno, cuenta con operaciones de minado, fundición, y refinación ubicadas en Perú y México; al mismo tiempo, conduce actividades de exploración tanto en Perú y México, como en Chile. En el caso del Perú, sus operaciones de minado se

concentran en los asentamientos mineros de Cuajone, en Moquegua, y Toquepala, en Tacna, además de la fundición ubicada en el puerto de Ilo, que pertenece también a Moquegua.

En ambos casos, las operaciones extractivas demandan un uso intensivo de maquinaria y de recurso humano, lo que implica que estos dos recursos deben gestionarse de manera adecuada, según expresa Frech (2015), con la mira puesta en una mejora progresiva en todo el tiempo de operaciones. Esta premisa es válida en toda su magnitud para las diferentes áreas operativas de la empresa, tanto las que se enfocan en extracción, molienda u otras acciones. En ese sentido, Casas (2015), señala:

La necesidad de gestionar los recursos materiales con que se cuenta, de modo que las operaciones continúen según programación, exige tomar decisiones respecto de las herramientas tecnológicas y de gestión de las que se dispone y de las que se espera contar en el futuro. La presión de los proveedores, la necesidad de mejorar continuamente la performance de las operaciones, y la atmósfera por mantenerse a la vanguardia del sector en el que se opera, inclina la gestión hacia la adquisición de equipos de operación y control cada vez mejores y más sofisticados. (p.72)

Sin embargo, aunque en la gran empresa los efectos contraproducentes de una decisión errónea no puedan ser socialmente relevantes o catastróficos, como sí ocurriría en una pequeña o mediana empresa, de todos modos, el precio por incurrir en decisiones equivocadas puede ser muy alto (Marcum, Smith y Khalsa,

2003). Esto es más cierto si se considera lo que se pone en marcha para apuntalar esas decisiones.

En consecuencia, muchas decisiones siguen su curso sin que se evalúe su eficacia en el proceso de mejora de operaciones o de gestión, y se cae en una situación de expectativa e incluso de tensa espera, hasta que se ponga en marcha un nuevo proceso de adquisiciones o de reemplazos.

En otras palabras, no sólo se continúa con una práctica ineficaz de toma de decisiones, como señalan Marcum et al. (2003), sino que se tiende a desestimar la posibilidad de aprender del bagaje de información que necesariamente se genera cuando una empresa sigue en actividad. En ese sentido, como sugieren Pfeffer y Sutton, (2007), se deja de lado la posibilidad de aprender incluso de los mismos errores; es decir, se pierde la posibilidad de aprender desde una perspectiva más empírica de la situación, más firmemente arraigada en las evidencias que a lo largo del tiempo ha acumulado una organización.

### **1.1.2. Problemática de la investigación**

En el ámbito de Southern Peru, en el Área de Molienda de la Planta Concentradora en Cuajone (región Moquegua), se hizo un cambio en lo que respecta a la Bomba de Alimentación de Ciclones del molino 1A, que trabaja con un motor acoplado de 900 HP. Anteriormente, ese motor trabajaba con un Variador de Media Tensión Modelo 1557 de Allen Bradley, que al igual que otros equipos de la concentradora, utilizan una tecnología de variadores de velocidad, que no es la más reciente; es más, considerando que la tecnología cambia y mejora continuamente, esto significa que varias de las familias antiguas de equipos, entre

las cuales se inscribe la del 1557, podrían haber quedado obsoletas. De ese modo, y en la medida que poco a poco estos equipos están pasando a obsolescencia, cabe esperar que los costos de sus repuestos sean más altos y exista una menor disponibilidad de los mismos.

Precisamente esta situación llevó a la adquisición de un variador de velocidad Power Flex 7000, que ha reemplazado al 1557 en las acciones en las que éste se utilizaba. Pero si bien se tomó una decisión de adquisición de este equipo sobre la base del criterio de posible e inherente obsolescencia del equipo anterior, no se ha evaluado si en la práctica sus efectos se han dejado sentir en la gestión de las operaciones en las cuales se aplica. En otras palabras, aun cuando ya han pasado algunos años desde la adquisición del variador de velocidad Power Flex 7000, se desconoce si en la práctica y específicamente para las operaciones en las cuales estaba implicado, su eficacia ha quedado demostrada, en comparación con la que correspondía al modelo 1557.

En consecuencia, el personal que labora en el área de molienda y tiene a cargo la supervisión y manejo de estos equipos, tiene como percepción común que el variador de velocidad nuevo se ha adquirido más en correspondencia con la obsolescencia del anterior, que con los supuestos beneficios operativos que se esperan de éste. Esto lleva a una inquietud en el sentido de comparar ambos equipos según la información con que se cuenta en torno a variables clave de la gestión del mantenimiento de los mismos: la disponibilidad, y verificar así el impacto que ha tenido el cambio del variador de velocidad en la disponibilidad del equipo de esta área. Este estudio apunta a responder esa inquietud.

## 1.2. Definición del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la disponibilidad de equipo, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?

### 1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?
- ¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en el *motivo consignado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?
- ¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?
- ¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?
- ¿Cuál es el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua)?

### **1.3. Justificación e importancia**

En tanto la minería constituye la actividad económica más importante del país; a nivel mundial y latinoamericano, Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros). Esta situación evidencia no sólo la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino, como señala el Ministerio de Energía y Minas (2013), también la estabilidad de las políticas económicas aplicadas durante las dos últimas décadas.

En ese sentido, las acciones relativas a las operaciones de la actividad minera a gran escala, los fundamentos de su intervención en la sociedad y la constante contradicción entre sus beneficios y costos ecológicos y sociales que implica, constituyen temas que necesariamente deben ser puestos a consideración, reflexión y debate tanto de autoridades, inversionistas, empresarios y académicos del país. Es importante destacar esa contradicción, que se produce ya sea por la explotación intensiva de los recursos naturales, por la necesidad de manejar un recurso humano amplio y diverso, o incluso, como expresa Chávez (2015), por una interacción con la comunidad no siempre exenta de fricciones.

En ese marco, abordar el modo como se gestiona las operaciones de la maquinaria utilizada representa un reto constante para quienes se involucran a la gran minería o se aproximan a ella; y en ese marco, el mantenimiento de esta maquinaria representa a su vez una manera empírica de respetar los distintos marcos regulatorios que existen en torno a la minería.

Considerando esa premisa, este estudio se justifica, primero, desde una perspectiva práctica, en tanto los resultados permiten evaluar la eficacia de un proceso de toma de decisiones que normalmente atiende a diferentes criterios, que van desde lo normativo, hasta lo personal, pero que no necesariamente se identifica como lo mejor para la empresa, para sus trabajadores o para su presencia en una comunidad. En este caso, se trata del cambio de un equipo (variador de velocidad) efectuado con miras a mejorar el proceso de operaciones de molienda en Cuajone, Moquegua.

Sin embargo, en un contexto internacional en el que los precios de los minerales no se encuentran en su mejor momento, esta suposición puede tomar forma de una dolorosa realidad, a tal punto que muchas empresas reconocen un desempeño financiero pobre, la necesidad de recortes de personal, como explican Marcum et al. (2003) e incluso un fracaso creciente en su capacidad de negociación con las comunidades que las albergan, como sugieren De Echave et al. (2009).

Cabe destacar que regiones como Cusco, Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna, representan un porcentaje importante de conflictos sociales registrados, situación que se corresponde con los mayores montos de inversión que registra la minería en estas regiones. En ese línea, como expresan Grufides, CooperAcción y Fedepaz (2014), estas regiones concentran más del 50% de la cartera de nuevos proyectos mineros, de acuerdo al informe del 14° Observatorio de conflictos mineros en el Perú.

En segundo lugar, este estudio se justifica desde una perspectiva teórica, pues, aunque en forma general se inscribe en el marco doctrinal de la gestión del

mantenimiento, disciplina que ha incorporado diferentes herramientas de gestión e incluso cuerpos teóricos con estatus propio, como la confiabilidad y la mantenibilidad, aquí se presume, juntamente con Canales, Pacheco y Sarno (2006), que la gestión del mantenimiento no se limita ni puede hacerlo a herramientas procedimentales que apuntan sólo al mejoramiento de operaciones.

En el fondo de su filosofía debe existir un principio que asuma la organización como un todo, para rescatar el hecho de que, como expresan Marcum et al. (2003, p.XVI), "las mejores decisiones se toman cuando la gente mira más allá de su entorno inmediato para abarcar la totalidad de la organización y contemplar el posible impacto sobre la empresa".

En ese sentido, este estudio supera las limitaciones de perspectiva que podría acarrear un enfoque únicamente centrado en el mantenimiento, y se extiende hacia la noción de gestión, entendida en el marco de la teoría de la administración. Así, como explica Stoner, Freeman y Gilbert (1996) en este marco necesariamente se involucran tanto los trabajadores como los gerentes. Se trata, en consecuencia, de ver "el éxito como un fenómeno ecológico" (Marcum et al., 2003, p.XVI), es decir, un marco en el cual se toman en cuenta las necesidades de todos los interesados como partes constitutivas de un todo empresarial mucho mayor.

#### **1.4. Alcances y limitaciones**

Los resultados del estudio tienen un alcance institucional y específico; primero, porque refieren el ámbito del área específica de la empresa donde se llevó a cabo el estudio, y segundo, porque refiere características de la gestión del mantenimiento que se hace en torno a un equipo específico del área de trabajo



considerada. En ese sentido, se puede sostener que sus alcances son relativamente limitados por esa especificidad.

Sin embargo, la intención que ampara este estudio permite suponer que, posiblemente, no sólo otros equipos de similar condición (las otras bombas con las que se trabaja), sino también de otro tenor, pudieran ser parte de un proceso de adquisiciones de bienes que no necesariamente cuenta con la mejor información ni con la mejor proyección en la empresa. En ese sentido, las primeras limitaciones del estudio dan pie a sostener que sus resultados invitan a una reflexión de más amplio nivel que se ampara en principios de gestión, antes que sólo en el propósito del mantenimiento.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Analizar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la disponibilidad de equipo, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- Determinar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en el *motivo identificado para mantenimiento*, en el área de

molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

- Determinar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- Determinar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- Determinar el impacto del *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

## **1.6. Variables**

### **1.6.1. Identificación de variables**

Variable independiente : upgrade del variador de velocidad

Variable dependiente : disponibilidad de equipo

### **1.6.2. Operacionalización de variables**

Tabla 1. Operacionalización de variables

variable	definición	dimensiones	indicadores	unidad
Independiente: Upgrade del variador de velocidad	Mejoramiento de prestaciones del variador de velocidad para bomba de alimentación de ciclones molino 1B, expresado por el cambio de variador de velocidad.	Unidimensional	Variador de velocidad utilizado por periodo	Variador utilizado
Dependiente: Disponibilidad de equipo	Capacidad de la empresa para disponer eficientemente de sus equipos según requerimientos de las operaciones realizadas, y que se define en función de las acciones de mantenimiento y de las situaciones de paro que se generan.	Mantenimiento	Razón de mantenimiento	Categoría común de razones
			Motivo consignado	Categoría común de motivos
		Paro	Causal de paro	Categoría común de causales
			Duración de parada	Hora
	Horas hombre por parada	Hora hombre		

Fuente: Elaboración propia

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis general**

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la disponibilidad de equipos, área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

### **1.7.2. Hipótesis específicas**

- El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en el *motivo identificado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).
- El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

- El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes del estudio

Morales (2013), en Chile, realizó un estudio cuyo objetivo fue construir un modelo económico que permita estimar el costo mina como parámetro importante para el área de planificación. Para ello se requería que el modelo fuera lo más confiable posible considerando como límite real las herramientas disponibles. El estudio se enfocó en la División “El Soldado” de Anglo American Chile; considerando los aspectos específicos de esta mina, se realizaron cálculos específicos con el objeto de incrementar la confiabilidad del modelo. Además, se caracterizaron los KPI (key performance indicator) relativos a la productividad de los equipos mineros (disponibilidad física, uso de la disponibilidad física y rendimiento) y se establecieron intervalos de confianza para ellos. Sobre esa base, se establecieron intervalos de probabilidad para el costo mina. Como resultados, se encontró que el costo mina para el año 2013 sería de 2179 dólares USA por tonelada. Y utilizando los KPI analizados, se obtuvo un costo mina promedio de 2255 dólares USA por tonelada, con intervalo de probabilidad al 70% de 2228 –

2283. Finalmente, se realizaron análisis similares para la flota de equipos mineros, con resultados satisfactorios.

Escamilla, Meza y Llamas (2011), en Michoacán, México, realizaron un estudio de productividad en una mina a cielo abierto que se ubica en el municipio de Aquila, en la que se extrae hierro. El estudio se enfocó en el equipo de carga utilizado para movilizar mineral y material estéril; y el objetivo fue determinar la utilización neta y la productividad; asimismo, se buscaba identificar los factores que afectan su desempeño. Considerando que el proceso de carga y acarreo es un proceso continuo, se aplicó un muestreo continuo, sobre la base del turno de trabajo como unidad de muestreo. Se trabajó con una muestra de 45 turnos de trabajo, en el que se determinaron y clasificaron previamente las actividades productivas y no productivas (interrupciones) en la operación del equipo. Los resultados obtenidos muestran una utilización neta de 4.27 horas y una productividad de 673 toneladas por hora por cada turno de trabajo. Estas cifras son bajas respecto de los indicadores propuestos por la empresa. Aparte, el factor que de interrupción que más afecta al equipo es la falta de camiones para acarreo (frecuencia de 1.65 horas y una media de 10 eventos por turno de trabajo).

Melo-González, Lara-Hernández y Jacobo-Gordillo (2009), en México, realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la topología de un sistema de compresión de gas amargo en una plataforma ubicada costa fuera. El análisis se hizo mediante simulación Monte Carlo y se realizó durante la etapa de ingeniería, sobre la base de la tasa de fallas de los equipos mecánicos e instrumentos. Se perseguía como propósito evaluar el

desempeño operativo de los compresores de tres etapas, considerando su operación en modo degradado, así como la estimación de la cantidad de gas quemado que se deriva a desfogue. Las conclusiones a las que se llegó son las siguientes: De acuerdo con las simulaciones Monte Carlo realizadas durante 8760 horas, se encontró que el sistema de compresión alcanza un índice de disponibilidad promedio de 0.9995, y un índice esperado de fallas de 0.436. Además, se observó que el sistema operó en modo degradado (sólo con un tren de compresión) 261 horas acumuladas en un año. En cuanto a mantenibilidad, el mantenimiento correctivo para una falla del sistema se ubica en 28.4 horas; y el 90% de tareas de mantenimiento correctivo se ubican en menos de 49.2 horas. Así, para un siete por ciento de fallas es necesario de dos a siete días para restablecer la operatividad; y más de una semana, para el tres por ciento restante.

Mesa, Ortiz y Pinzón (2006), en Colombia, realizaron un estudio sobre la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, como disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento, con el propósito de coadyuvar la toma de decisiones del personal de mantenimiento en equipos industriales. Las conclusiones a las que se llegó son las siguientes: Primero, la confiabilidad representa un alto costo de dinero, por lo que debe perseguirse sólo cuando es realmente efectiva. Segundo, se debe respetar el principio que el mantenimiento tiene como objetivo garantizar la función requerida de equipos y sistemas, sin que necesariamente se elimine todo fallo. Tercero, el mantenimiento no aumenta la confiabilidad, pero mantiene la confiabilidad esperada. Y cuarto, la planificación del mantenimiento debe enfocarse en la disponibilidad.



Por otro lado, Díaz (2013), en el Perú, realizó un estudio cuyo objetivo fue analizar la no disponibilidad de los equipos en la unidad minera Iscaycruz de la empresa minera Los Quenuales. Se aplicó el proyecto TPM con la finalidad de tener una herramienta para el control y seguimiento de los principales indicadores mecánicos y operacionales. Se analizaron índices de disponibilidad en los subsistemas productivos, tiempos de parada, costo de no disponibilidad, y servicios auxiliares relativos a la no disponibilidad. Como herramientas para el diagnóstico completo del sistema productivo (perforación, limpieza, transporte, extracción) se aplicaron el estudio de tiempos y movimientos, y el diagrama causa efecto. Las conclusiones del estudio fueron las siguientes: Primero, la necesidad de emplear herramientas estadísticas conocidas, a fin de obtener el máximo provecho posible, empleando tecnologías de información, permite transformar los datos en información de calidad. Se trata de un proceso conjunto adaptado a las operaciones con el propósito de efectuar un control y seguimiento de las mismas, con el objeto de incrementar la productividad de las operaciones de los equipos con la mejora de su utilización. La utilización depende de la eficiencia y efectividad de las operaciones. La eficiencia depende de otros factores: entorno del país, suministro de la labor, supervisión, condiciones climáticas, condiciones de trabajo, disponibilidad de equipo y otros tipos de demoras.

Jiménez (2011), en el Perú, realizó un estudio cuyo propósito fue delimitar el ámbito conceptual de diferentes términos de la gestión del mantenimiento. Se trata de un estudio de carácter teórico. Los hallazgos del estudio son los siguientes: Primero, la disponibilidad es la capacidad de un activo o componente para permanecer en un estado operativo cuando se requiere. Segundo, la confiabilidad

refiere los tiempos que derivan de la ocurrencia de una falla. Tercero, la disponibilidad refiere los tiempos de operación y fuera de servicio de los componentes. Existen dos tipos de mantenibilidad: intrínseca, relacionada al diseño de una instalación y que contribuyen al mantenimiento de un componente; y extrínseca, que considera el contexto de dependencia de la gestión de mantenimiento cuando se repara un componente.

Alva (2009), en el Perú, realizó un estudio de optimización de costos de operación de una flota de scooptrams en una mina subterránea de la empresa Consorcio Minero Horizonte S.A. El objetivo fue optimizar el costo total de la flota, mediante la elaboración de un programa de mantenimiento y reemplazo de cinco equipos. La flota estuvo conformada por 16 unidades. Las conclusiones del estudio son las siguientes: Primero, la aplicación del método utilizado no optimiza el costo operativo de la flota; se encontró que 75% de la flota propuesta, repotenciada, tendría un costo operativo mayor que el costo óptimo de un equipo similar en el mercado. Segundo, la aplicación del método propuesto optimiza el costo operativo de la flota, porque todos los equipos tienen un menor costo operativo que cualquier otro equipo similar disponible en el mercado. Tercero, la permanencia de un equipo nuevo en la flota se estima en tres años. Cuarto, la aplicación del método actual tiene influencia débil sobre el Programa de Mantenimiento actual, debido a que la flota está constituida por equipos de diferentes marcas, modelos y potencia de motores. Finalmente, la aplicación del método propuesto requiere de un nuevo programa de mantenimiento.

## 3.2. Bases teóricas

### 3.2.1. El marco de la gestión del mantenimiento

La función del mantenimiento no ha sido reconocida desde antaño, sino que se empieza a manejar cuando la producción de maquinaria se enmarca también en la fabricación bajo el principio de obsolescencia programada. Campbell (1999) señala que esta falta de reconocimiento se debió al hecho de que las máquinas tenían una naturaleza más bien robusta y una ingeniería poco compleja.

Sin embargo, en la actualidad, la perspectiva es otra; el mantenimiento se empieza a tomar en cuenta, desde que se reconoce que un equipo cuenta con una vida útil.

Knezevic (1996) señala al respecto:

Todo usuario de un sistema mecánico o electrónico reconoce que, en el principio de su vida útil, independientemente de la perfección alcanzada en su diseño, de la tecnología que se haya utilizado en su producción o de los materiales usados en su fabricación, con el transcurso del tiempo de operación se producirán cambios irreversibles en el sistema. (p.16)

Cabe señalar que estos cambios constituyen el resultado de diferentes procesos internos. Por lo general, estos procesos se superponen e interactúan entre sí, provocando con ello un cambio en el sistema; evidentemente, esto deriva en la modificación de las características de actuación del sistema.

En consecuencia, cuando las características del sistema se desvían respecto de los valores especificados, ocurre lo que se conoce como *fallo del sistema*. Hay que señalar, entonces, que esas desviaciones se pueden producir debido a diferentes

factores; Knezevic (1996) menciona entre estos factores las sobrecargas, las reparaciones incorrectas, y los errores que cometen los operadores. Evidentemente, se pueden identificar otros más, aunque este autor ya no los especifica.

Así, es importante entender que, más allá de las razones que explican la aparición de un fallo, éste siempre implica la transición del sistema desde un estado de funcionamiento satisfactorio a un nuevo estado no satisfactorio, que presenta deficiencias. En consecuencia, a todos los sistemas ideados por el ser humano les compete uno de los dos estados posibles: *estado de funcionamiento* y *estado de fallo*.

Por otro lado, los sistemas también se analizan en función de la posibilidad de recuperación de su funcionalidad; si la funcionalidad del sistema se puede recuperar, a éste se le denomina sistema recuperable. Así, siguiendo a Knezevic (1996) la noción de *recuperabilidad* se utiliza para describir “la capacidad de un sistema para ser recuperado tras su fallo” (p.17).

Sin embargo, para que un sistema recupere su funcionalidad, según Mesa, Ortiz y Pinzón (2006), se debe ejecutar un conjunto de tareas específicas. A estas acciones, en un marco de entendimiento más amplio se las conoce como *tareas de mantenimiento* (Knezevic, 1996). Existe una amplia y variada gama de tareas de recuperación, aunque las más comunes son la limpieza, la lubricación, los ajustes, la pintura, la calibración, la reparación, la restauración, el cambio o recambio de piezas, la renovación, etc.

Cabe destacar, sin embargo, que para recuperar la funcionabilidad de un sistema, por lo general, se requiere realizar dos o más tareas en forma simultánea o en forma consecutiva, como parte de un proceso. Y a veces, para mantener el sistema en estado de funcionamiento, como explica (Knezevic, 1996), es posible que se requiera también un conjunto de tareas adicionales, además de las acciones de mantenimiento requeridas para recuperar el sistema después de un fallo.

### **3.2.2. Confiabilidad**

#### 3.2.2.1. Qué es la confiabilidad

Según el Estándar ISO/DIS 14224 – 2004, la *confiabilidad* es la "capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado" (Jiménez, 2011). En términos matemáticos, Melo, Lara y Jacobo (2009), definen la confiabilidad de un equipo como la "probabilidad de que desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas" (p.94).

En ese sentido, siguiendo a estos autores, la confiabilidad constituye "una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento" (Melo et al., 2009, p.94). Esta es la razón por la cual la confiabilidad constituye un valioso indicador cuando se trata de seleccionar un equipo, entre varias alternativas.

En síntesis, conceptualizar la confiabilidad implica dar por supuesto que un "componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado" (Jiménez, 2011). Esto implica que el funcionamiento del componente no se

interrumpe, sino que, por el contrario, una vez que se pone en operación, se espera que continúe en operación por un periodo predeterminado.

De todos modos, es importante destacar que Nachlas (1995) identificó cuatro atributos específicos en la definición de confiabilidad: probabilidad, funcionamiento adecuado, calificación respecto del entorno, y tiempo.

#### 3.2.2.2. Función de confiabilidad

Varios autores coinciden en que la confiabilidad expresa la probabilidad de funcionamiento de un equipo o componente durante un tiempo determinado. Aquí, siguiendo a Melo et al. (2009, p.94), se define la confiabilidad como “la probabilidad  $Pr$  de que un componente funcione durante un periodo de tiempo  $t$ ”. En términos matemáticos, la confiabilidad puede expresarse “por una variable aleatoria continua  $T$  como el tiempo a falla del componente cuando  $T \geq 0$ ” (Melo et al., 2009, p.94); es decir:

$$R(t) = Pr\{T \geq t\}$$

#### 3.2.2.3. Función de distribución de fallas acumuladas

Esta función se conceptualiza como “la probabilidad de que un elemento no falle en el instante  $t$  o antes de  $t$ ” (Melo et al., 2009, p.94); matemáticamente, se define por la siguiente expresión:

$$F(t) = 1 - R(t) = P \{T < t\}$$

#### 3.2.2.4. Función de densidad de probabilidad de fallas

Esta función se conceptualiza como “la probabilidad de fallo de un elemento por unidad de tiempo, en cada instante  $t$ ” (Melo et al., 2009, p.95); en otras palabras, se entiende como el cociente entre la probabilidad de fallo de un componente en el intervalo  $(t, t+\Delta t)$  y  $\Delta t$ , y se expresa en los siguientes términos:

$$f(t) = \frac{d F(t)}{dt} = \frac{d F(t)}{dt}$$

A esta expresión, que constituye una distribución de probabilidad, se le conoce como *función de densidad de probabilidad*, y describe la forma que adopta la distribución de fallas; precisamente por ello, se aplica en la estimación de la probabilidad de fallas.

Considerando la *función de distribución de fallas acumuladas*, se tiene la siguiente expresión:

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx$$

Y, de acuerdo con la ecuación dada anteriormente, se obtiene la función típica para estimar la confiabilidad de un equipo o sistema (Melo et al., 2009):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx$$

### 3.2.2.5. Función de tasa de falla

Esta función refiere “la probabilidad de que un elemento que está funcionando en el instante  $t$  deje de funcionar en el intervalo  $t+\Delta t$ ” (Melo et al., 2009, p.95). En ese sentido, la función de la tasa de fallas  $\lambda(t)$  describe la distribución de fallas; es decir, describe el comportamiento del número de fallas de una población en cada unidad de tiempo (Melo et al., 2009). Se expresa por la siguiente ecuación:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt}(\ln R(t))$$

Cabe señalar que la función  $\lambda(t)$  “es una característica única de la variable tiempo” para fallas de una población de componentes, equipos o sistemas (Melo et al., 2009, p.95).

### 3.2.2.6. Tiempo medio para fallas (MTTF)

La media de la distribución de fallas es una de las medidas de tendencia central de la distribución. Constituye el estimado puntual más común respecto de la confiabilidad. En términos matemáticos, el tiempo medio por falla se define por:

$$M = E(T) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Que, como señalan Melo et al. (2009, p.95) es la media o valor esperado de la distribución de probabilidad que se define por  $f(t)$ .



### 3.2.2.7. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Esta medida refiere la vida media de un componente y se define como la “esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta el fallo de un elemento cuya densidad de fallos es  $f(t)$ ” (Melo et al., 2009, p.95); esto es:

$$E(T) = M = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

De las ecuaciones anteriores, se tiene que la ecuación de Confiabilidad, se rige por el tiempo entre fallas (MTBF), que involucra la ocurrencia de esta.

### 3.2.3. Disponibilidad

En lo que respecta a disponibilidad, Melo et al. (2009, p.95) expresan lo siguiente:

El concepto de disponibilidad se desarrolló originalmente para sistemas reparables que requerían operar continuamente, y que en cualquier punto aleatorio del tiempo o estaban operando o fuera de operación debido a una falla sobre la cual se está trabajando para restaurar la operación en un tiempo mínimo.

Por otro lado, según el Estándar ISO/DIS 14224 – 2004 (cit. en Jiménez, 2011), la disponibilidad se define en los siguientes términos:

Capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Sobre la base de lo dicho, es claro que la disponibilidad constituye una medida importante y útil, sobre todo, como expresan Melo et al. (2009) cuando el usuario debe tomar decisiones. Como expresan estos autores, en ese proceso:

Es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad. La disponibilidad se basa únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación.

Si se tiene en cuenta este marco, esta medida puede ser usada como un parámetro para el diseño:

$$A = \frac{M}{M + M}$$

En este caso, A es la disponibilidad.

En consecuencia, cuando se habla de disponibilidad, el componente se activa (es puesto arriba) en un instante dado, sin importar lo que ocurre después, aunque la función del componente puede ser interrumpida arbitrariamente (Jiménez, 2011).

Por ello, de las expresiones dadas, siguiendo a Melo et al. (2009), se implica que la *ecuación de disponibilidad* tiene que ver con los *tiempos de operación* (MUT) y los *tiempos fuera de servicio* (MTTR). Así, los tiempos fuera de servicio pueden tomar en cuenta o no los tiempos que se destinan al mantenimiento preventivo, además de las actividades programadas de mantenimiento correctivo y las reparaciones efectuadas por fallo de componentes.

### 3.2.4. Mantenibilidad

De acuerdo con la norma ISO/DIS 14224 (cit. en Jiménez, 2011), la mantenibilidad se entiende como:

La capacidad que, bajo condiciones específicas, tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado de modo que pueda alcanzar un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados.

En ese sentido, como señalan Melo et al. (2009), la mantenibilidad es una "medida de qué tan fácil y rápido puede un sistema o equipo restaurarse a un estado operacional después de una falla" (p.95).

Precisamente por ello, la mantenibilidad se identifica como una función del diseño del equipo. Melo et al. (2009) aclaran lo siguiente:

La mantenibilidad requiere la disponibilidad del personal con los niveles de habilidad requeridos, procedimientos de mantenimiento y de prueba de equipo adecuado y el ambiente físico bajo el cual se lleva a cabo el mantenimiento.

En forma semejante a la confiabilidad, la expresión matemática para la mantenibilidad es la siguiente:

$$M(t) = \int_0^t g(t)dt$$

En este caso,  $g(t)$  es la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria, que se identifica con el *tiempo para reparar* (Melo et al., 2009, p.96).

Expresado de otra forma, la ecuación típica de la mantenibilidad es:

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)}$$

Cuando  $\mu$  o *ratio de reparación* es constante (Jiménez, 2011).

Considerando que el MTTR (Mean Time To Repair o *tiempo medio fuera de servicio*) es el tiempo promedio para reparar un componente cuando hay falla, es parte del tiempo promedio arriba o en servicio (MDT); por ello mismo, constituye un indicador directo de la mantenibilidad.

Así, se puede definir el ratio de reparación ( $\mu$ ) en función del MTTR:

$$\mu = 1/\text{MTTR}$$

Al respecto, Jiménez (2011) explica:

El ratio de reparación es un indicador que permite evaluar la probabilidad de un componente de ser reparado, por lo que desempeña un papel exactamente similar a la rata de falla ( $\lambda = 1/\text{MTBF}$ ) para el cálculo de la confiabilidad.

Se puede señalar, entonces, que la mantenibilidad se relaciona inversamente con la duración y el esfuerzo requerido en actividades de mantenimiento. De la misma manera, se asocia de manera inversa con el tiempo requerido por las acciones de mantenimiento en relación con la obtención del comportamiento deseable de un componente (Jiménez, 2011).

Según este autor, existen dos tipos de mantenibilidad: *intrínseca*, que depende del aspecto y diseño de una instalación, y evalúa cómo las características de diseño (accesibilidad y facilidades de mantenimiento) ayudan al mantenimiento de un componente; y *extrínseca*, que según Jiménez (2011), toma en cuenta “el contexto de dependencia de la gestión de mantenimiento cuando se repara un componente”.

### **3.2.5. El variador de velocidad 1557**

Según la Rockwell Automation (2013), el variador 1557 MV (media tensión) es una unidad de fuente de corriente ancho de pulso modulado convertidor del lado de la máquina. Este componente:

Está diseñado para suministrar corriente trifásica a cargas de motor de inducción estándar, en la medida que convierte tres fases de potencia de entrada 50/60 Hz a una fuente de corriente de CA de frecuencia ajustable, lo que permite controlar la velocidad de los motores de jaula de ardilla de corriente alterna.

Según la Rockwell Automation (2013), en su diseño, este variador utiliza una tecnología de estado sólido. Esta tecnología se caracteriza por una confiabilidad probada, debido a que varias técnicas de implementación de circuitos que se han utilizado son exclusivos de esta unidad.

La filosofía de su diseño básico enfatiza el aislamiento de fallos de los componentes individuales (Rockwell Automation, 2013), de modo tal que se reduce la posibilidad de ocurrencia de fallos simultáneos de varios componentes.

Esta importante característica implica que el tiempo medio de reparación se reduce.

Las características básicas de diseño de esta unidad son las siguientes:

- Las tres corrientes de fase del motor son sinusoidales con baja distorsión armónica total (Rockwell Automation, 2013).
- El diseño utiliza circuitos conductores aislados, uno por apertura de puerta Tiristor (GTO), y convertidor de lado controlado por silicio (SCR) (Rockwell Automation, 2013).
- Las dos fases de salida de corriente se controlan individualmente, lo que garantiza la protección y control (Rockwell Automation, 2013).
- El diseño tiene la capacidad de enviar al motor un torque de baja velocidad con baja corriente armónica (Rockwell Automation, 2013).
- Se utiliza un esquema de protección electrónica sin fusibles en el circuito de potencia para condiciones de fallo normales (Rockwell Automation, 2013).
- Los disipadores de calor se controlan con sensores de temperatura que permiten detectar sobretemperaturas (Rockwell Automation, 2013).
- La unidad 1557 utiliza un diseño base con todos los componentes fácilmente accesibles desde el frontis, sin necesidad de desmontar la unidad ampliamente (Rockwell Automation, 2013).
- La lógica del sistema de accionamiento se basa en el microordenador, lo que permite eliminar numerosos potenciómetros para la calibración del sistema (Rockwell Automation, 2013).

- El fallo y la indicación de alarma se activan utilizando un panel de interfaz del operador (Rockwell Automation, 2013).

Así, según la Rockwell Automation (2013) hay que tener en cuenta lo siguiente:

Con cada unidad se requiere un reactor transformador de aislamiento de la unidad o de la línea de CA. Un transformador de aislamiento es obligatorio cuando se utilizan los motores existentes, cuando se utilizan convertidores de lado de la línea 12-Pulse, o para reducir pausadamente la principal tensión de alimentación. Un reactor de línea CA sólo puede utilizarse cuando se utilizan nuevos motores con el nivel adecuado de fase para el aislamiento a tierra (Rockwell Automation, 2013). (p.5)

### **3.2.6. El PowerFlex7000**

Según la Rockwell Automation (2007):

El Variador de Media Tensión en CA Power Flex 7000 enfriado por Aire (Tamaño “B”) representa la tercera generación de variadores de media tensión de Rockwell Automation, y forma parte de la familia de productos Power Flex de variadores CA. Esta familia de variadores Allen-Bradley Power Flex incorpora tecnología de punta, comunicación intrínseca, y una considerable gama de elementos en común en las múltiples plataformas, redes, programas de interfaz con los operadores y hardware (p.1).

Cabe destacar que este variador se diseñó en función de los requerimientos de los usuarios, los proveedores de soluciones y los fabricantes, considerando un amplio

rango de aplicaciones, que según la Rockwell Automation (2007) van “desde una fracción de potencia hasta 5.500 caballos de fuerza” (p.1).

Como se indica en los documentos fuente, se trata de un “variador de mediana tensión de uso general e independiente” que permite el control de velocidad, el par de torsión, así como la “dirección, arranque y parada de motores estándar CA sincrónicos y asincrónicos” (Rockwell Automation, 2007, p.1).

Este documento indica también que, gracias a sus características, puede emplearse en diferentes aplicaciones, tanto estándares como específicas; en ese sentido, según Rockwell Automation (2007), se aplica en:

Ventiladores, bombas, compresores, mezcladores, hornos autoclaves, bombas de ventilación y bancos de prueba. En el caso de industrias primarias, sus aplicaciones se enfocan hacia petroquímicas, cementeras, mineras y del metal, de productos forestales, generación eléctrica y agua/aguas residuales. (p.1)

Precisamente porque se le requiere en diferentes industrias y aplicaciones, el Power Flex 7000 es un producto global que cumple con una serie de estándares de calidad (NEC, IEC, NEMA, UL, CSA). Rockwell Automation (2007) también señala otros beneficios. Primero, en cuanto a gama de producto, en el mercado mundial se encuentra disponible en modelos con tensiones de alimentación comunes que van desde 2400 voltios hasta 6600 voltios (Rockwell Automation, 2007). Por otro lado, su diseño garantiza una alta confiabilidad, simplicidad de uso y reducción de costos totales (Rockwell Automation, 2007).



En cuanto a principio de funcionamiento, Rockwell Automation (2007) expresa lo siguiente:

Este equipo hace uso de un inversor de fuente de corriente (CSI) con modulación del ancho del pulso (PWM) para el convertidor del lado de la máquina. Esta topología posibilita contar con una estructura de potencia sencilla, confiable y económicamente efectiva, cuyas aplicaciones se verifican “en una amplia gama de tensiones y de potencias. (p.1)

Hay que destacar también que los interruptores semiconductores de potencia son sencillos de instalar en serie, para cualquier nivel de media tensión. Por otro lado, no se necesita usar fusibles semiconductores en la estructura de potencia porque cuenta con el inductor limitante de corriente de enlace CD.

Es importante también considerar que “debido a la capacidad nominal de los semiconductores PIV con capacidad de 6.500 voltios PIV”, se ha reducido el número de componentes inversores a un mínimo necesario.

Por otra parte, como señala Rockwell Automation (2007), otras características destacadas son las siguientes:

El Power Flex 7000 es inherentemente regenerativo tanto en las aplicaciones donde la carga pone a punto al motor, como cuando se trabaja con grandes cargas inerciales, que requieran una rápida desaceleración. Los tiristores de compuerta simétrica conmutada se utilizan como interruptores para el convertidor del lado de la máquina, mientras que los

rectificadores controlados de silicio o los tiristores para rectificadores activos se utilizan en los “interruptores del convertidor de la línea. (p.2)

### **3.3. Definición de términos**

#### *Upgrade del variador de velocidad*

Mejoramiento de las prestaciones del variador de velocidad para la bomba de alimentación de ciclones molino 1B, expresado por el cambio de variador de velocidad, del modelo 1557 de Allen Bradley al modelo Power flex 7000.

#### *Disponibilidad de equipos*

Capacidad de la empresa para disponer eficientemente de sus equipos en la medida de los requerimientos que exigen las operaciones que se realizan, y que se define en función de las acciones de mantenimiento y de las situaciones de paro que se generan.

#### Mantenimiento

Acciones programadas y realizadas por la empresa con el objeto de mantener operativos los equipos, y que se define en función de la razón por la cual se ordena el mantenimiento y del motivo consignado que hizo necesario el mantenimiento.

#### *Razón de mantenimiento*

Razón atribuida por la cual se da origen a la orden de trabajo de mantenimiento.

### *Motivo consignado*

Situación específica que se identifica como el motivo por el cual fue necesario disponer la orden de mantenimiento.

### *Paro*

Situación de parada de equipo, que se define en función de la causal de paro, la duración de la parada y de la cantidad de horas hombre que se pierde por parada.

### *Causal de paro*

Motivo por el cual el equipo requirió mantenimiento, que se identifica después de intervenir el equipo.

### *Duración de parada por equipo*

Periodo medido en horas que un equipo permanece detenido por razones de mantenimiento.

### *Horas hombre por parada*

Total de horas hombre que se pierden durante la parada de un equipo específico.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO MÉTODOLÓGICO**

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

Este estudio corresponde a las investigaciones experimentales, en tanto la variable independiente se manipula (se le asigna valores distintos) con el propósito de verificar su posible efecto en la otra variable (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Para el análisis de datos y la contrastación de hipótesis el estudio recurre a los diseños comparativos, que son una extensión de los diseños seccionales y longitudinales y se dan cuando éstos “abarcan no uno solo, sino dos o más grupos distintos, lo que permite efectuar comparaciones entre ellos” (Sierra, 1999, p.335).

Normalmente, estos diseños proporcionan una mayor base que los seccionales y longitudinales “para el análisis y la interpretación e incluso para el estudio de la causalidad” (Sierra, 1999, p.335).

### **3.2. Población y muestra**

La población está constituida por 126 órdenes de trabajo generadas para la bomba de alimentación de ciclones molino 1B, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua), generadas entre enero de 2008 y diciembre de 2014. En cuanto a muestra, se trabajó con el total de órdenes de trabajo.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos, se utilizó la técnica del análisis documental (Paredes, 2005). La investigación documental es un procedimiento que se basa en un proceso sistemático de “recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos” en torno a un determinado asunto u objeto (Morales, 2009).

En ese sentido, las “técnicas de investigación documental se aplican a algunos tipos de documentos”, entre los cuales se incluyen las bases de datos (Rojas, 2011, p.281). Se utilizó como fuentes la información registrada por la empresa respecto de las operaciones efectuadas durante el periodo señalado. Cabe señalar que esta técnica de investigación se concreta en un instrumento que se conoce como ficha de registro de datos.

### **3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El procesamiento de datos se hizo de forma automatizada con la ayuda de herramientas informáticas. Se hizo uso de SPSS 22, paquete con múltiples 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. Las acciones específicas en las que se utilizaron los programas mencionados son las siguientes:

En lo que respecta a Excel:

- Registro de información sobre la base del formato aplicado.
- Elaboración de tablas resumen de estadísticas descriptivas.
- Elaboración de tablas de frecuencia absoluta y porcentual.
- Elaboración de gráficos para visualizar la distribución de los datos en las categorías que son objeto de análisis.

En cuanto a SPSS 22:

- Prueba de normalidad según el contraste de Kolmogorov – Smirnov para una muestra.
- Desarrollo de los contrastes de homogeneidad de U-Mann Whitney o de Kolmogorov – Smirnov para dos muestras independientes.

En cuanto a estadísticos, se utilizaron los siguientes:

- Tablas de frecuencia.
- Medidas de tendencia central.
- Asimetría
- Curtosis
- Prueba de diferencia de proporciones
- Prueba de Mann – Whitney

Entre las medidas de tendencia central, el análisis de la información se ha efectuado utilizando la media, la media recortada y, sobre todo, la mediana.

Para el análisis de las diferencias entre las proporciones de distribución de las categorías en función del variador de velocidad utilizado, se aplicó la prueba de diferencia de proporciones, que, siguiendo a Berenson y Levine (1996), consiste en una prueba estadística que analiza si dos proporciones difieren significativamente entre sí. En ese sentido, se verifica si la proporción de una categoría específica de una variable en un grupo es diferente de la proporción de esa misma categoría en otro grupo. Para ello, una vez conocida la proporción que se quiere comparar en ambos grupos, se calcula el valor z mediante la expresión siguiente:

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\frac{P_1 q_1}{n_1} + \frac{P_2 q_2}{n_2}}}$$

Donde,  $q_1 = 1 - P_1$  y  $q_2 = 1 - P_2$

La puntuación z calculada se compara con la puntuación z de la distribución de puntuaciones z (normal) que corresponde al nivel de confianza elegido. Así, si el valor z calculado es igual o mayor que el valor z de la tabla de áreas bajo la curva normal correspondiente, se acepta la hipótesis de diferencia de la proporción. En caso contrario, si el valor z calculado es menor que el z teórico, se rechaza la hipótesis de investigación, y se acepta la hipótesis nula. Esto se plantea del siguiente modo:

$$H_1 : Z_e > Z_c$$

$$H_0 : Z_e < Z_c$$

Donde

$Z_e$ :  $Z$  empírico o  $Z$  calculado

$Z_c$ :  $Z$  teórico o  $Z$  que corresponde al área bajo la curva normal

En el caso de la prueba  $U$  de Mann-Whitney (también llamada de Mann-Whitney-Wilcoxon, prueba de suma de rangos Wilcoxon, o prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney), según Pérez (2005), es una prueba no paramétrica aplicada a dos muestras independientes, que se utiliza cuando se quiere comprobar la heterogeneidad de dos muestras ordinales. El planteamiento de partida es el siguiente:

- Las observaciones de ambos grupos son independientes.
- Las observaciones están constituidas por variables ordinales o continuas.
- Como hipótesis nula, se considera que la distribución de partida de ambos grupos es la misma.
- Como hipótesis alternativa, se considera que los valores de una de las muestras tienden a exceder a los de la otra.

Así, si  $H_0$  es cierta, entonces  $P(X < Y) = 1/2$ . Como hay  $n_1 \cdot n_2$  pares  $(x_i, y_j)$ , el número esperado de pares  $(x, y)$  tales que  $x < y$  es  $n_1 \cdot n_2 / 2$ . A partir de este dato se define el estadístico  $U$  de Mann-Whitney, que se define como el número observado de pares que cumplen esta propiedad. De ese modo, una desviación significativa de  $U$  respecto de  $n_1 \cdot n_2 / 2$  indica que  $H_0$  debe ser rechazada.



Para calcular  $U$  se reúnen las dos muestras como si fueran una sola; esta sola muestra se ordena. Así,  $U$  es igual a la frecuencia de las  $x_i$  que preceden a  $y_j$ , es decir:

$$U = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} u(x_i, y_j)$$

Donde  $u(x_i, y_j)$  vale 1 si  $x_i < y_j$ , y vale 0 en otro caso.

Para decidir si  $U$  es significativo, se compara la  $U$  calculada con los valores de la tabla de Mann-Whitney, considerando el nivel significancia y los tamaños muestrales  $n_1, n_2$ .

Sin embargo, para este contraste, aquí se ha utilizado el criterio del p-valor (Pérez, 2005). Este criterio permite el rechazo de la hipótesis nula (las muestras proceden de la misma población) para un nivel de significancia  $\alpha$  cuando el p-valor es menor que  $\alpha$ ; en caso contrario, la hipótesis nula debe aceptarse. Esto es:

$$H_1 : p < \alpha$$

$$H_0 : p > \alpha$$

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados

##### 4.1.1. Impacto en la razón de mantenimiento

Tabla 2. Distribución de frecuencias de la *razón de mantenimiento* durante el periodo de uso del VV 1557

razón de mantenimiento	frecuencias	porcentaje
tiempo servicio	41	71.9
sobretensión	3	5.3
no funciona	2	3.5
no arranca	1	1.8
quemado	5	8.8
mal funcionamiento	3	5.3
fuera de rango	1	1.8
corto circuito	1	1.8
total	57	100

Fuente: Elaboración propia (2016).

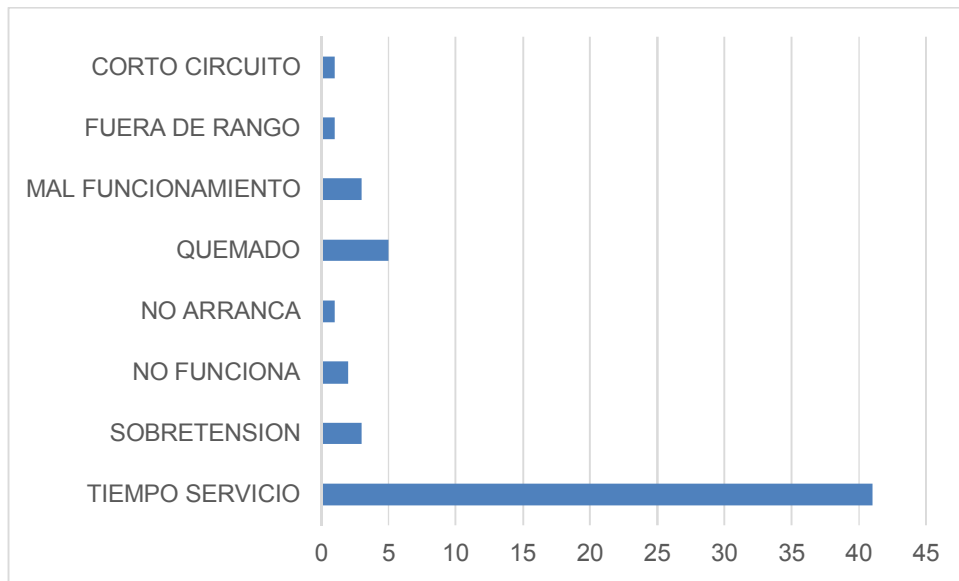


Figura 1. Frecuencias de la razón de mantenimiento con VV 1557

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557. En lo que respecta a las razones señaladas, predomina el tiempo de servicio, que acumula 41 órdenes de trabajo, que representan el 71,9% del total registrado. En segundo lugar, sigue en importancia los equipos quemados, que acumula cinco casos, que representan el 8,8% del total. La sobretensión y el mal funcionamiento registran tres observaciones (5,3% del conjunto), mientras que otras razones se reducen a dos casos o a sólo uno.

Tabla 3. Distribución de frecuencias de la *razón de mantenimiento* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

razón de mantenimiento	frecuencias	porcentaje
tiempo servicio	56	81.2
mal funcionamiento	3	4.3
falsa alarma	2	2.9
ninguno	8	11.6
total	69	100.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

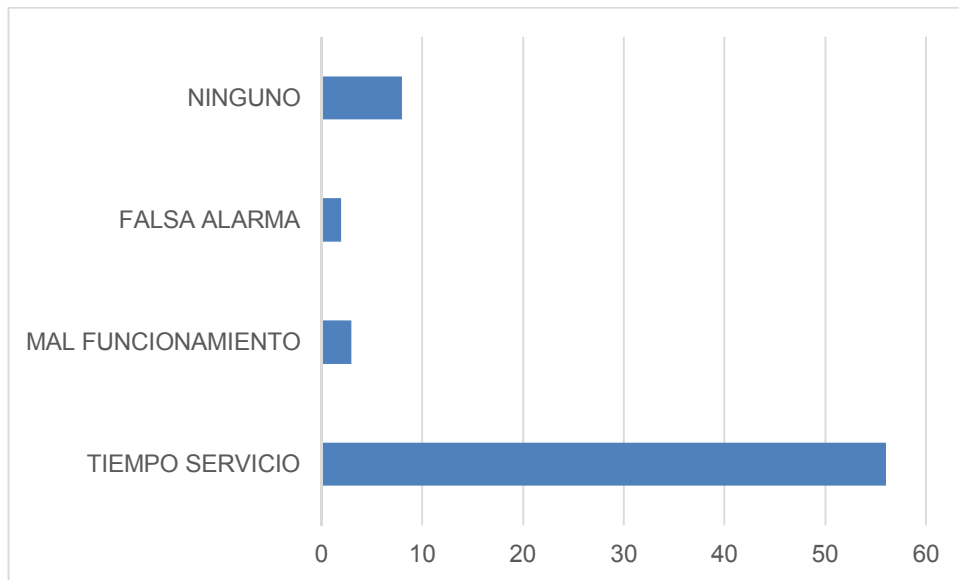


Figura 2. Frecuencias de la *razón de mantenimiento* con VV Power Flex 7000

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del Power Flex. En lo que respecta a las razones señaladas, predomina el tiempo de servicio, que se verifica en 56 órdenes de trabajo, que representan el 81,2% del total registrado. En segundo lugar, sigue en importancia el mantenimiento sin ninguna razón específica, categoría en la que se reúnen ocho casos, que representan el 11,6% del total. El mal funcionamiento y la falsa alarma completan la descripción, tres observaciones (5,3% del conjunto), el primero, y dos casos, la segunda.

Tabla 4. Identificación de categorías compartidas de la *razón de mantenimiento*, periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000

categorías		
VV 1557	Power Flex	categoría
razón de mantenimiento	razón de mantenimiento	compartida
tiempo servicio	tiempo servicio	tiempo servicio
sobretensión	mal funcionamiento	mal funcionamiento
no funciona	falsa alarma	otra
no arranca	ninguno	
quemado		
mal funcionamiento		
fuera de rango		
corto circuito		

Fuente: elaboración propia

En esta tabla se muestra los resultados del procedimiento de identificación de categorías compartidas respecto de la *razón de mantenimiento* entre los periodos de uso del VV 1557 y del Power Flex 7000. Las categorías compartidas entre ambos periodos son el tiempo de servicio y el mal funcionamiento. El resto de categorías identificadas se agrupan en la categoría “otras”.

Tabla 5. Efecto del variador de velocidad en la *razón de mantenimiento*

categorías comunes	VV 1557		Power Flex		variación	var. %
	frecuencia	proporción	frecuencia	proporción		
tiempo servicio	41	0.719	56	0.812	0.092	9.2
mal funcionamiento	3	0.053	3	0.043	-0.009	-0.9
otra	13	0.228	10	0.145	-0.083	-8.3
total	57	1.0	69	1.0		

categorías comunes			
razón de mantenimiento	Z calculado	Z teórico	efecto
tiempo servicio	1.2163	1.96	no signif
mal funcionamiento	-0.2381	1.96	no signif
otra	-1.1896	1.96	no signif

Fuente: elaboración propia

En esta tabla se analiza el efecto del variador de velocidad en la *razón de mantenimiento*. Para ello, se aplica la prueba de diferencia de proporciones, que indica si dos proporciones se diferencian entre sí, considerando, como en este caso, un factor diferenciador. En este caso, se han identificado dos categorías compartidas de razones de mantenimiento, sobre las cuales se verifica el efecto de la modificación del variador de velocidad: el tiempo de servicio y el mal funcionamiento; y además, una categoría que reúne aquellas categorías en la cuales no hubo coincidencia en ambos periodos, la que se ha denominado “otra”.

Para el caso específico de la razón de mantenimiento, las categorías identificadas tienen un significado preciso. El tiempo de servicio expresa que la orden de trabajo se emite cuando el equipo ha cumplido su tiempo de servicio, que es la situación esperada, y no antes. El mal funcionamiento expresa que la orden de trabajo se expide cuando se debe intervenir un equipo porque está funcionando

mal. La categoría “otra” identifica diferentes situaciones por las cuales se debe intervenir un equipo.

El razonamiento seguido para la verificación del efecto del upgrade del variador de velocidad en cada una de las categorías es el siguiente:

- si la proporción de tiempo de servicio crece, el efecto es positivo.
- si la proporción de mal funcionamiento disminuye, el efecto es positivo.
- si la proporción de la categoría “otra” disminuye, el efecto es positivo.

Por otro lado, para que el efecto sea significativo, el valor  $Z$  calculado debe ser mayor (en valor absoluto) que el valor  $Z$  crítico (o teórico), que para un 95% de confianza es 1.96. En caso contrario, el efecto no es significativo y debe asumirse que el posible efecto, en tanto magnitud, no se da o se debe al azar.

Sobre la base de lo expresado, se observa que la proporción de equipos que cumple su tiempo de servicio pasa de 0,719, durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a 0,812, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, lo que implica una variación de 0,092 en cuanto a tiempo de servicio. En términos cuantitativos, este incremento de 9,2% es importante; sin embargo, no es suficiente para producir un efecto que se puede considerar significativo (el valor  $Z$  calculado es 1,2163, menor que el valor  $z$  crítico, 1,96).

Lo mismo se puede decir de la categoría “otra”, donde se verifica una reducción de una proporción de 0,228 durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,145, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, lo que supone una reducción del 8,3% entre ambos periodos. De todos modos, la



reducción no es significativa, pues la prueba de diferencia de proporciones identifica un  $z$  calculado de 0,2381, que es mucho menor que el valor  $z$  crítico, 1,96.

En el caso de la categoría de mal funcionamiento, la variación de la proporción es de apenas -0,9%, que indica claramente que no hubo un efecto del variador de velocidad en esta categoría de la variable razón de mantenimiento.

#### 4.1.2. Impacto en el *motivo consignado para mantenimiento*

Tabla 6. Distribución de frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* durante el periodo de uso del VV 1557

motivo consignado	frecuencias	porcentaje
sucio	40	70.2
cambio por falla otro componente	3	5.3
malogrado/a	3	5.3
contacto abierto	2	3.5
quemado	5	8.8
falta tensión	1	1.8
componente defectuoso	1	1.8
acumulación polvo	1	1.8
ninguno	1	1.8
total	57	100.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

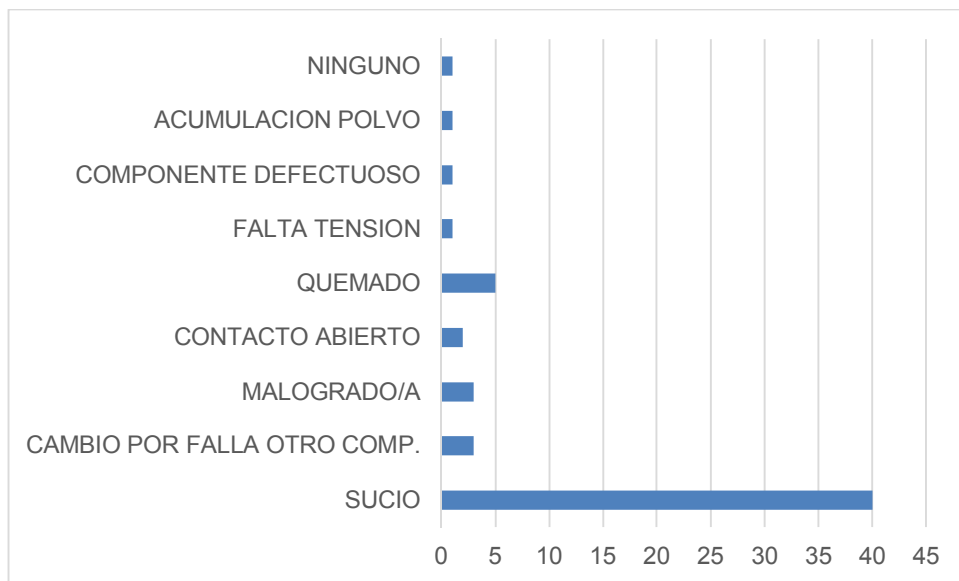


Figura 3. Frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* con VV 1557

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557. En lo que respecta a los motivos consignados en la emisión de la orden de trabajo, predomina la categoría “sucio”, que reúne 40 órdenes de trabajo, que representan el 70,2% del total de órdenes registradas. En segundo lugar, sigue en importancia la categoría de equipo quemado, en donde se identifican cinco casos (8,8% del total). Las categorías de equipo malogrado y de cambio por falla de otro componente alcanzan cada una tres órdenes de trabajo (5,3% del conjunto), mientras que otros motivos consignados para mantenimiento se reducen a dos casos o sólo a uno.

Tabla 7. Distribución de frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* durante el periodo de uso del VV Power Flex 7000

motivo consignado	frecuencia	porcentaje
sucio	55	79.7
falsa alarma	4	5.8
desconectado	1	1.4
ninguno	6	8.7
acumulación polvo	1	1.4
obsoleto	1	1.4
contacto abierto	1	1.4
total	69	100.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

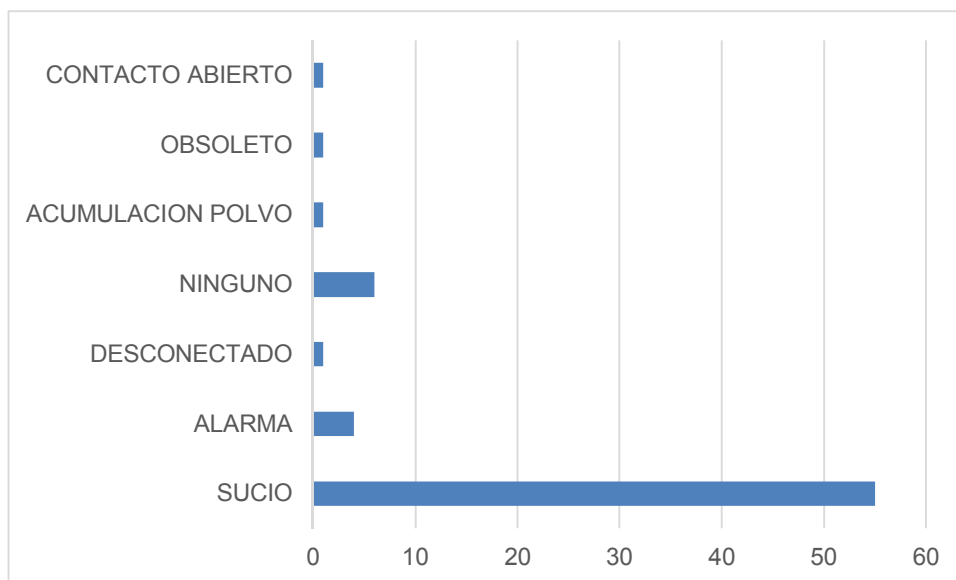


Figura 4. Frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* con Power Flex 7000

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias del *motivo consignado de mantenimiento* durante el periodo de uso del Power Flex. En lo que respecta a los motivos consignados, predomina la categoría “sucio”, donde se registran 55 órdenes de trabajo, que representan el 79,7% del total registrado. En segundo lugar, sigue en importancia las órdenes de trabajo que no obedecen a ninguna razón específica, con seis casos, que representan el 8,7% del total. La falsa alarma registra cuatro observaciones (5,8% del conjunto).

Tabla 8. Identificación de categorías compartidas del *motivo consignado de mantenimiento*, periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000

categorías		
VV 1557	Power Flex	categoría
motivo consignado	motivo consignado	compartida
sucio	sucio	sucio
cambio x falla otro comp. malogrado/a	alarma	contacto abierto
contacto abierto	desconectado	ninguno
quemado	ninguno	otra
falta tensión	acumulación polvo	
componente defectuoso	obsoleto	
acumulación polvo	contacto abierto	
ninguno		

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra los resultados del procedimiento de identificación de categorías compartidas respecto del *motivo consignado de mantenimiento* entre los periodos de uso del VV 1557 y del Power Flex 7000. Las categorías compartidas entre ambos periodos son las de equipo sucio y contacto abierto; se incluye también la categoría ninguno. El resto de categorías identificadas se agrupan en la categoría “otra”.

Tabla 9. Efecto del variador de velocidad en el *motivo consignado de mantenimiento*

motivo consignado	VV 1557		Power Flex		var	var.%
	frecuencia	proporción	frecuencia	proporción		
sucio	40	0.702	55	0.797	0.095	9.5
contacto abierto	2	0.035	1	0.014	-0.021	-2.1
ninguno	1	0.018	6	0.087	0.069	6.9
otra	14	0.246	7	0.101	-0.144	-14.4
total	57	1.0	69	1.0		

motivo consignado	Z calculado	Z teórico	efecto
sucio	1.2293	1.96	no signif
contacto abierto	-0.7277	1.96	no signif
ninguno	1.8210	1.96	no signif
otra	-2.1321	1.96	signif

Fuente: elaboración propia

En esta tabla se analiza el efecto del variador de velocidad en el *motivo consignado de mantenimiento*. También en este caso se aplica la prueba de diferencia de proporciones. En este caso, se identifican tres categorías compartidas de *motivos consignados de mantenimiento*, sobre las cuales se verifica el efecto de la modificación del variador de velocidad: equipo sucio, contacto abierto y ninguno, además de la categoría otra, que reúne aquellas categorías en la cuales no hubo coincidencia en ambos periodos.

El razonamiento seguido para la verificación del efecto del upgrade del variador de velocidad en cada una de las categorías es el siguiente:

- Si la proporción de equipo sucio disminuye, el efecto es positivo.
- Si la proporción de contacto abierto disminuye, el efecto es positivo.
- Si la proporción de la categoría “ninguno” crece, el efecto es positivo.

Por otro lado, para que el efecto sea significativo, el valor  $Z$  calculado debe ser mayor (en valor absoluto) que el valor  $Z$  crítico (o teórico), que para un 95% de confianza es 1.96. En caso contrario, el efecto no es significativo.

Sobre la base de lo expresado, se observa que la proporción de equipos sucios pasa de 0,702, durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a 0,797, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, lo que implica una variación de 0,095. Aunque en términos cuantitativos, este incremento de 9,5% parece relevante; sin embargo, no es significativo: el valor  $z$  calculado es 1,2293, menor que el valor  $z$  crítico, 1,96; por lo tanto, su posible efecto no es significativo.

Lo mismo se puede decir de la categoría de contacto abierto, donde se verifica una reducción de una proporción de 0,035 durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,014, durante el periodo de uso del Power Flex 7000. Esto significa una reducción de 2,1% entre ambos periodos, que no es significativa, en tanto la prueba de diferencia de proporciones identifica un valor  $z$  calculado de 0,7277, que es mucho menor que el valor  $z$  crítico, 1,96.

En el caso de la categoría de ningún motivo consignado, la variación de la proporción es de 6,9%, que tampoco es significativa, pues el valor  $z$  calculado es 1,8210, menor que el valor  $z$  crítico, 1,96, lo que indica que no hubo un efecto del variador de velocidad en esta categoría de la variable.

En contraste, en el caso de la categoría “otra”, la proporción decrece 14,4%, pasando de 0,246 durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,101, durante el periodo de uso del Power Flex 7000. Esta variación resultó significativa, pues el valor  $z$  calculado es 2,1321, mayor que el



valor z crítico, 1,96, lo que indica que hubo un efecto significativo del variador de velocidad en esta categoría de la variable.

### 4.1.3. Impacto en la causal de paro

Tabla 10. Distribución de frecuencias del *causal de paro* durante el periodo de uso del VV 1557

causal paro	frecuencias	porcentaje
ambiente polvoriento	37	64.9
energía incorrecta	4	7.0
circuito de control	2	3.5
falsa alarma	1	1.8
tiempo de uso	5	8.8
termino de vida útil	4	7.0
sobrecarga	1	1.8
desconocimiento	1	1.8
no precisada	1	1.8
cableado flojo	1	1.8
total	57	100.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

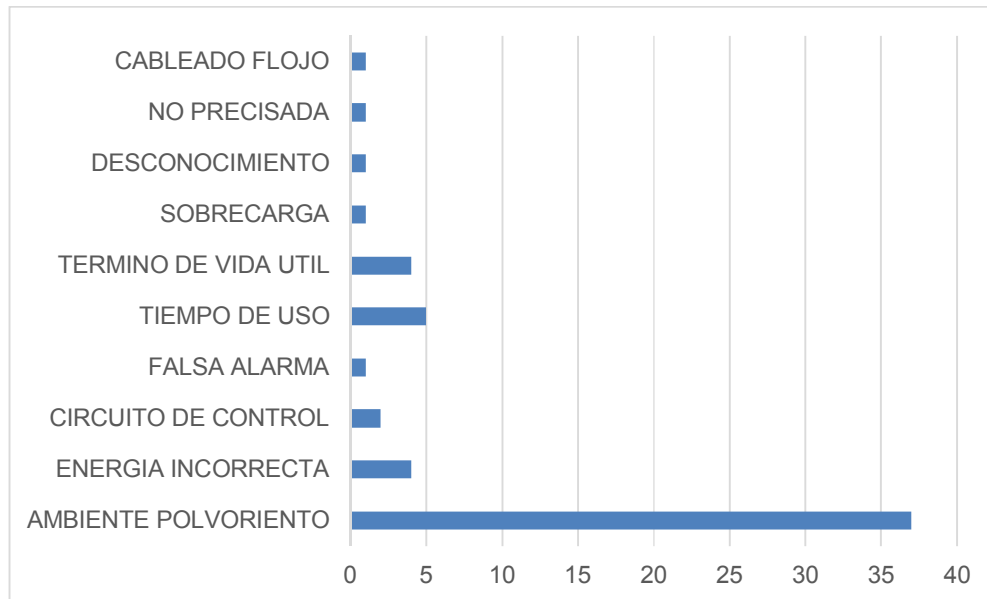


Figura 5. Frecuencias de la *causal de paro* con VV 1557

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias de la *causal de paro* identificada durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557. En cuanto a las causas de paro, predomina el ambiente polvoriento, que se presenta en 37 casos o, lo que es lo mismo, 64,9% del total de órdenes registradas. Después, con frecuencias mucho menores, aparecen el tiempo de uso, con cinco casos (8,8%), energía incorrecta y término de vida útil, con cuatro casos (7,0%) cada uno, y fallo del circuito de control, con dos casos, mientras que el resto de categorías sólo aparece una vez.

Tabla 11. Distribución de frecuencias del *causal de paro* durante el periodo de uso del VV Power Flex 7000

causal paro	frecuencias	porcentaje
ambiente polvoriento	39	56.5
término de vida útil	17	24.6
componente defectuoso	1	1.4
no fallo	7	10.1
equipo obsoleto	1	1.4
circuito abierto	1	1.4
terminal suelto	1	1.4
falsa alarma	1	1.4
falla de comunicación	1	1.4
Total	69	100.0

Fuente: Elaboración propia (2016).

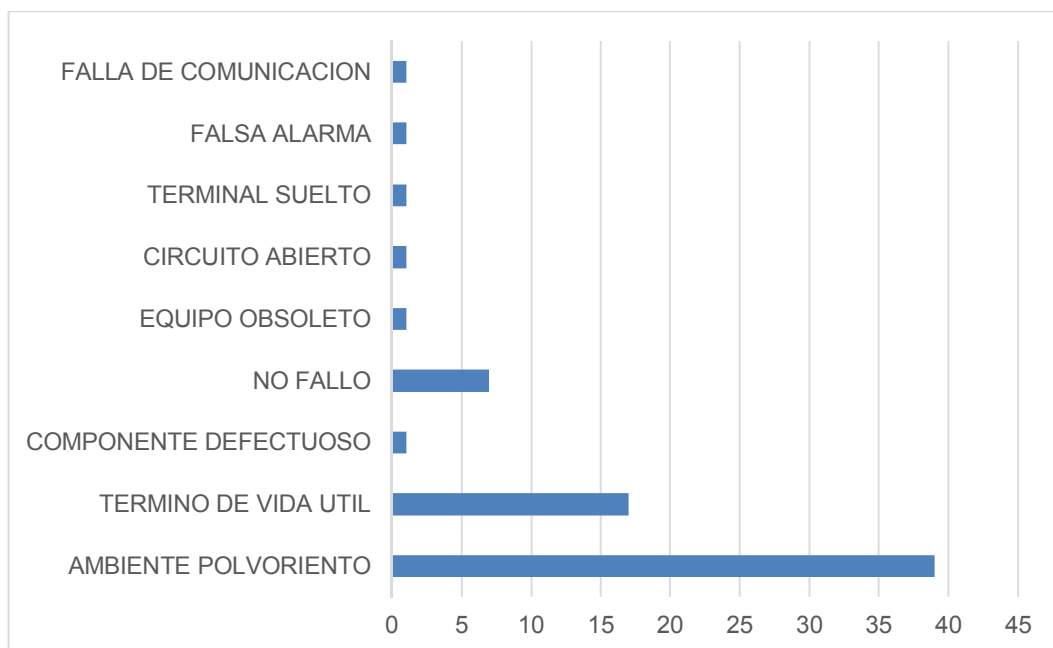


Figura 6. Frecuencias de la *causal de paro* con Power Flex 7000

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra la distribución de frecuencias de la *causal de paro* identificada durante el periodo de uso del Power Flex 7000. En cuanto a las causas de paro, predomina el ambiente polvoriento, que se presenta en 39 casos, es decir, 56,5% del total de intervenciones. En segundo lugar aparece el término de vida útil, categoría que reúne 17 casos, que representan 24,6% del total. Después, con una frecuencia de siete casos, aparecen las intervenciones cuando no se ha llegado al fallo, mientras que el resto de categorías sólo aparece una vez.

Tabla 12. Identificación de categorías compartidas del *causal de paro*, periodos de uso del VV 1557 y Power Flex 7000

Categorías		
VV 1557	Power Flex	categoría
causal paro	causal paro	compartida
ambiente polvoriento	ambiente polvoriento	ambiente polvoriento
energía incorrecta	término de vida útil	término de vida útil
circuito de control	comp. defectuoso	terminal suelto
falsa alarma	no fallo	falsa alarma
tiempo de uso	equipo obsoleto	otra
término de vida útil	circuito abierto	
sobrecarga	terminal suelto	
desconocimiento	falsa alarma	
terminal suelto	falla de comunicación	
cableado flojo		

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se muestra los resultados del procedimiento de identificación de categorías compartidas respecto de la *causal de paro* entre los periodos de uso del VV 1557 y del Power Flex 7000. Las categorías compartidas entre ambos periodos son el ambiente polvoriento, el término de vida útil del equipo, equipo con terminal suelto y falsa alarma. El resto de categorías identificadas se agrupan en la categoría “otra”.

Tabla 13. Efecto del variador de velocidad en la *causal de paro*

causal paro	VV 1557		power Flex		var	var.%
	frecuencia	proporción	frecuencia	proporción		
ambiente polvoriento	37	0.649	39	0.565	-0.084	-8.4
término de vida útil	4	0.070	17	0.246	0.176	17.6
falsa alarma	1	0.018	1	0.014	-0.003	-0.3
terminal suelto	1	0.018	1	0.014	-0.003	-0.3
otra	14	0.246	11	0.159	-0.086	-8.6
total	57	1	69	1		

causal paro	Z calculado	Z teórico	efecto
ambiente polvoriento	-0.9652	1.96	no signif
término de vida útil	2.8450	1.96	sig
falsa alarma	-0.1352	1.96	no signif
terminal suelto	-0.1352	1.96	no signif
otra	-1.1961	1.96	no signif

Fuente: Elaboración propia (2016).

En esta tabla se analiza el efecto del variador de velocidad en la *causal de paro*. Con ese propósito, se aplica la prueba de diferencia de proporciones. En este caso, se identifican cuatro categorías compartidas de *causal de paro*: ambiente polvoriento, término de vida útil, falsa alarma y cableado flojo o equipo con terminal suelto, además de la categoría otra, que reúne aquellas categorías en la cuales no hubo correspondencia entre ambos periodos. Sobre estas categorías se verifica el efecto de la modificación del variador de velocidad.

El razonamiento seguido para la interpretación del efecto del upgrade del variador de velocidad en cada una de las categorías es el siguiente:

- Si la proporción de ambiente polvoriento disminuye, el efecto es positivo.
- Si la proporción de término de vida útil crece, el efecto es positivo.

- Si la proporción de falsa alarma disminuye, el efecto es positivo.
- Si la proporción de cableado flojo disminuye, el efecto es positivo.

Por otro lado, para que el efecto sea significativo, el valor Z calculado debe ser mayor (en valor absoluto) que el valor Z crítico (o teórico), que para un 95% de confianza es 1.96. En caso contrario, el efecto no es significativo.

En función de este criterio, se tiene que la proporción de ambiente polvoriento como causal de paro de los equipos pasa de 0,649, durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a 0,565, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, que implica una variación negativa de 0,084. Sin embargo, aunque la reducción de la proporción de esta causal de paro es de 8,4%, no es significativa, pues el valor z calculado es de apenas 0,9652, menor que el valor z crítico, 1,96; por lo tanto, no hay efecto significativo.

Lo mismo se puede decir de las categorías de falsa alarma, cableado flojo y otra. La primera pasa de una proporción de 0,018 (en realidad, 0,0175) durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,014 (en realidad, 0,0135), durante el periodo de uso del Power Flex 7000, lo que implica una reducción que no es significativa, en tanto la prueba de diferencia de proporciones identifica un valor z calculado de 0,1352, que es mucho menor que el valor z crítico, 1,96. En el caso de cableado flojo, pasa de una proporción de 0,018 durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,014, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, que tampoco es significativa (la prueba de diferencia de proporciones identifica un valor z calculado de 0,1352, que es mucho menor que el valor z crítico, 1,96). Y en lo que



concieme a la categoría otra, pasa de una proporción de 0,246 durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,159, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, reducción que no resulta significativa, pues la prueba de diferencia de proporciones identifica un valor z calculado de 1,1961, que es menor que el valor z crítico, 1,96. En estas tres categorías de la variable, no hubo un efecto del variador de velocidad.

En contraste, en el caso de la categoría de término de vida útil, la proporción pasa de 0,070, durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, a una proporción de 0,246, durante el periodo de uso del Power Flex 7000. Este incremento de 17,6% en la proporción de equipos que llegan al paro porque terminó su vida útil, resultó significativa, pues el valor z calculado es 2,8450, mayor que el valor z crítico, 1,96, lo que indica que hubo un efecto significativo del variador de velocidad en esta categoría de la variable.

#### 4.1.4. Impacto en la duración de parada por equipo

Tabla 14. Estadísticos descriptivos de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del VV 1557

variador velocidad		Estadístico	Error estándar	
duración parada	VV1557	Media	7,9649	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 5,5043	
			Límite superior 10,4255	
		Media recortada al 5%	6,7076	
		Mediana	4,0000	
		Varianza	85,999	
		Desviación estándar	9,27355	
		Mínimo	,00	
		Máximo	45,00	
		Rango	45,00	
		Rango intercuartil	2,00	
		Asimetría	2,480	,316
		Curtosis	5,772	,623

Fuente: Elaboración propia (2016).

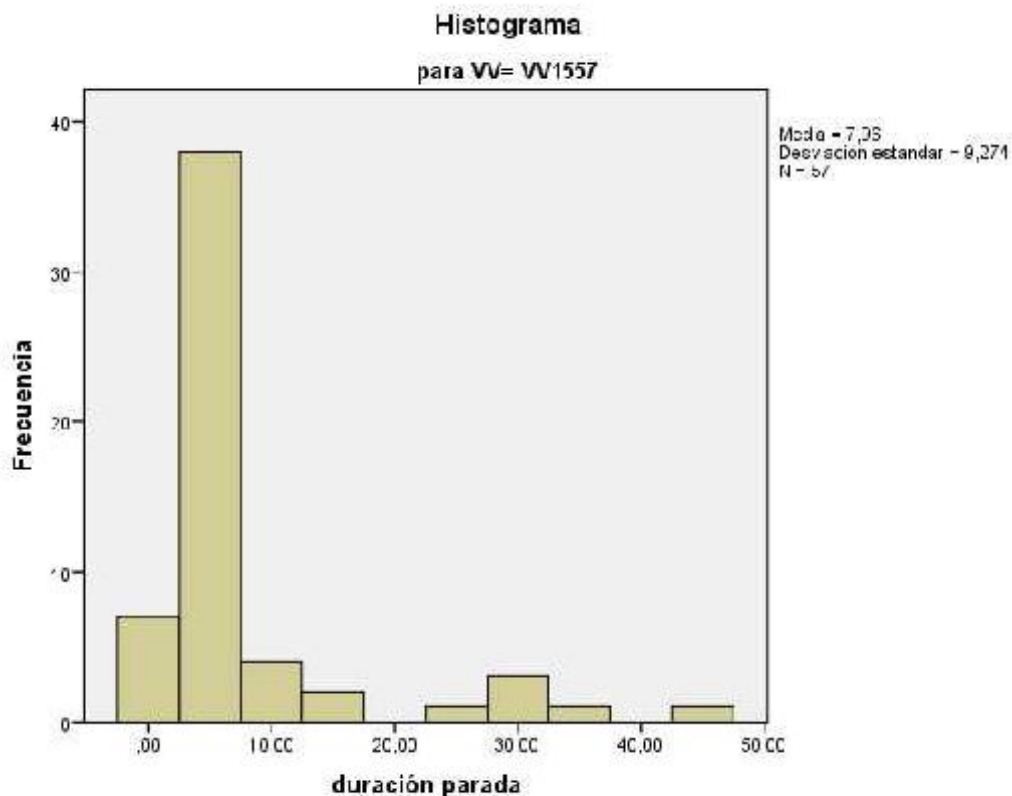


Figura 7. Histograma de frecuencias de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del VV 1557

Fuente: Elaboración propia (2016).

En lo que concierne a la duración de parada de los equipos, durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, las medidas de tendencia central evidencian una disparidad que sugiere una distribución alejada de la normal. Por un lado, se alcanza un promedio de 7,96 horas por equipo, con una desviación estándar de 9,27 horas. Por otro lado, la media recortada, que evita algunos de los valores extremos, se ubica en 6,7 horas de parada, es decir, una hora por parada menos que el promedio. Y la mediana se ubica en sólo cuatro horas por parada de equipo, para una distribución donde el valor mínimo es cero y el valor máximo 45. Esta ausencia de normalidad se refleja también en una asimetría positiva de 2,48 y, sobre todo, en un fuerte apuntamiento expresado por una curtosis de valor 5,772.

Tabla 15. Estimadores de la mediana de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del VV 1557

Estimadores M								
		Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>			
duración parada		4,9535	4,3364	4,5351	4,3313			
a. La constante de ponderación es 1,339.								
b. La constante de ponderación es 4,685.								
c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500								
d. La constante de ponderación es 1,340*pi.								
Percentiles								
		Percentiles						
		5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado (Definición 1)	duración parada	1,8000	2,0000	4,0000	4,0000	6,0000	24,8000	32,4000
Bisagras de Tukey	duración parada			4,0000	4,0000	6,0000		

Fuente: Elaboración propia (2016).

La primera parte de esta tabla muestra los estimadores robustos centrales. Todos ellos oscilan alrededor de 4,5 horas de duración por parada de equipo, lo que representa una estimación de la tendencia central mucho más próxima al valor de la mediana (4 horas de parada de equipo), que al de la media aritmética, que resulta muy elevado ( $\bar{X} = 7,9649$ ) debido a la presencia de valores extremos.

La segunda parte de la tabla muestra los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 de la distribución. Los valores de los percentiles muestran una distribución asimétrica positiva: la distancia entre el percentil 10 y el 50 es de dos horas de parada por equipo, mientras que entre el percentil 50 y el 90 es 20,8 horas de duración por parada de equipo, es decir, más de seis veces la distancia entre los percentiles 10 y 50.

Junto a los percentiles, se muestran las tres bisagras de Tukey, que en todos los casos coinciden con los valores del primer cuartil (percentil 25), segundo cuartil (mediana) y tercer cuartil (percentil 75).

Tabla 16. Estadísticos descriptivos de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

variador velocidad			Estadístico	Error estándar	
duración parada	power flex 7000	Media	9,8261	2,36259	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,1116	
			Límite superior	14,5406	
		Media recortada al 5%	6,1393		
		Mediana	4,0000		
		Varianza	385,146		
		Desviación estándar	19,6251		
		Mínimo	,00		
		Máximo	107,00		
		Rango	107,00		
		Rango intercuartil	6,00		
		Asimetría	3,844	,289	
		Curtosis	15,276	,570	

Fuente: Elaboración propia (2016).

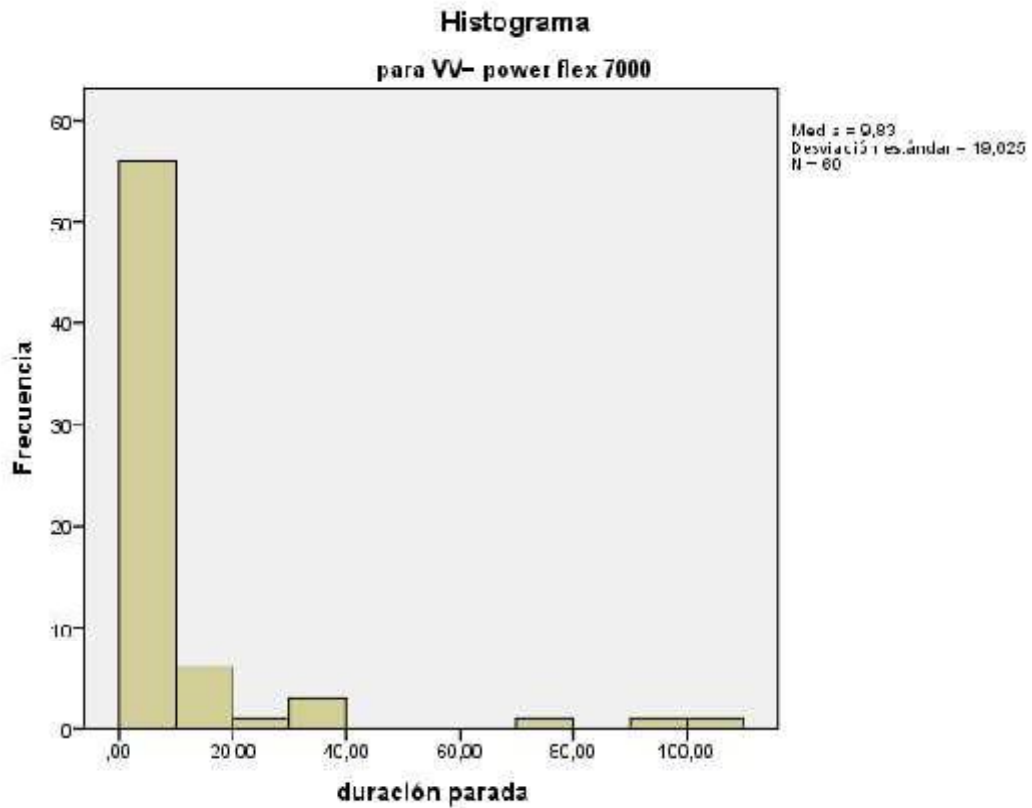


Figura 8. Histograma de frecuencias de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

Fuente: Elaboración propia (2016).

En lo que respecta a la duración de parada de los equipos, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, las medidas de tendencia central evidencian una discrepancia entre sí que sugiere una distribución alejada de la normal. Por un lado, se alcanza un promedio de 9,8261 horas de parada por equipo, con una desviación estándar de 19,625 horas. Por otro lado, la media recortada, que evita algunos de los valores extremos, se ubica en 6,1393 horas de parada por equipo, es decir, tres horas menos que el promedio. Y la mediana se ubica en sólo cuatro horas por parada de equipo, para una distribución donde el valor mínimo es cero y el valor máximo 107. Esta ausencia de normalidad se refleja también en una asimetría positiva de 3,844 y en el notable apuntamiento expresado por una curtosis de valor 15,272.

Tabla 17. Estimadores de la mediana de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

Estimadores M								
		Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>			
duración parada		4,3310	3,4172	3,7409	3,3858			
a. La constante de ponderación es 1,339.								
b. La constante de ponderación es 4,685.								
c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500								
d. La constante de ponderación es 1,340*pi.								
		Percentiles						
		5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado (Definición 1)	duración parada	,0000	,0000	2,0000	4,0000	8,0000	24,0000	55,5000
Bisagras de Tukey	duración parada			2,0000	4,0000	8,0000		

Fuente: Elaboración propia (2016).

La primera parte de esta tabla muestra los estimadores robustos centrales. Todos ellos oscilan alrededor de cuatro horas de duración por parada de equipo, lo que representa una estimación de la tendencia central mucho similar al valor de la mediana (4 horas de parada de equipo), que al de la media aritmética, que resulta muy elevado ( $X = 9,8261$ ) debido a la presencia de valores extremos.

La segunda parte de la tabla muestra los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95. Los valores de los percentiles muestran una distribución asimétrica positiva: la distancia entre el percentil 10 y el 50 es de cuatro horas de parada por equipo, mientras que entre el percentil 50 y el 90 es 51,5 horas de duración por parada de equipo, es decir, más de 12 veces la distancia entre los percentiles 10 y 50.



Junto a los percentiles, se muestran las tres bisagras de Tukey, que en todos los casos coinciden con los valores del primer cuartil (percentil 25), segundo cuartil (mediana) y tercer cuartil (percentil 75).

Tabla 18. Efecto del variador de velocidad en la *duración de parada de equipo*

Prueba de Mann-Whitney

<b>Frecuencias</b>				
	variador velocidad	N		
duración parada	VV1557 (Control)	57		
	power flex 7000 (Experimental)	69		
	Total	126		

<b>Rangos</b>				
	variador velocidad	N	Rango promedio	Suma de rangos
duración parada	VV1557	57	68,25	3890,50
	power flex 7000	69	59,57	4110,50
	Total	126		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	duración parada
U de Mann-Whitney	1695,500
W de Wilcoxon	4110,500
Z	-1,347
Sig. asintótica (bilateral)	,178

a. Variable de agrupación: variador velocidad

Fuente: Elaboración propia (2016).

Para analizar el impacto del upgrade del variador de velocidad en la *duración de parada de equipo*, se ha utilizado la prueba de Mann – Whitney para muestras independientes. Para ello, se ha utilizado el criterio del p-valor, que permite rechazar la hipótesis nula, que sostiene que las distribuciones de probabilidad de los dos conjuntos de datos a comparar no difieren entre sí, para un nivel  $\alpha$  determinado, cuando el p-valor es menor que  $\alpha$ ; por el contrario, en caso de que el p-valor sea superior al  $\alpha$  determinado, se acepta la hipótesis nula (Pérez, 2005).

En ese sentido, si  $X_1$  es la distribución de probabilidad de la *duración de parada de equipo* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, y  $X_2$  es la distribución de probabilidad de la *duración de parada de equipo* durante el

periodo de uso del variador de velocidad Power Flex 7000, lo dicho se operacionaliza en los siguientes términos:

$H_0$  : Las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  son idénticas                       $H_0$  :  $p > 0.05$   
 $H_a$  : Las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  difieren entre sí                       $H_a$  :  $p \leq 0.05$

Como se observa en el cuadro, el  $p$  – valor (significación asintótica bilateral) es 0,178, no significativo para el nivel de significancia elegido ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia, se acepta la hipótesis nula que sostiene que las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  son idénticas. Por lo tanto, las distribuciones de probabilidad de los dos conjuntos de datos a comparar no difieren entre sí, es decir, no hubo variación entre la *duración de parada de equipo* que corresponde al periodo de uso del Power Flex 7000 respecto de la que corresponde al periodo de uso del variador de velocidad 1557.

#### 4.1.5. Impacto en las horas hombre por parada

Tabla 19. Estadísticos descriptivos de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del VV 1557

		variador velocidad		Estadístico	Error estándar
horas hombre parada	VV1557	Media		14,8947	2,41895
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	10,0490	
			Límite superior	19,7405	
		Media recortada al 5%		12,1871	
		Mediana		8,0000	
		Varianza		333,524	
		Desviación estándar		18,2626	
		Mínimo		,00	
		Máximo		98,00	
		Rango		98,00	
		Rango intercuartil		4,00	
		Asimetría		3,010	,316
		Curtosis		10,262	,623

Fuente: Elaboración propia (2016).

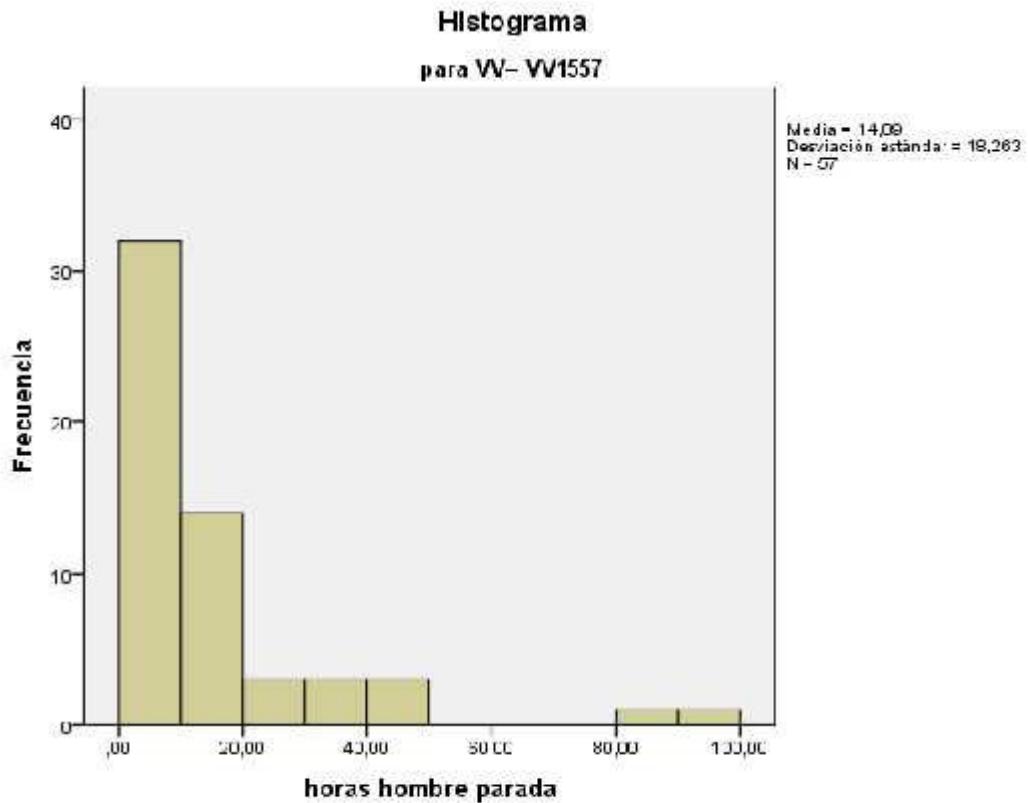


Figura 9. Histograma de frecuencias de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del VV 1557

Fuente: Elaboración propia (2016).

En cuanto a horas hombre por parada, durante el uso del variador de velocidad 1557, las medidas de tendencia central muestran una disparidad importante, que sugiere distanciamiento de la normal. Así, se alcanza un promedio de 14,8947 horas hombre, con una desviación estándar de 18,2626. La media recortada, que evita algunos de los valores extremos, se ubica en 12,1871 horas hombre, es decir, más de dos horas hombre por debajo del promedio. Y la mediana se ubica en ocho horas hombre por parada de equipo, para una distribución donde el valor mínimo es cero y el valor máximo 98. Esta ausencia de normalidad se refleja también en una asimetría positiva de 3,010 y en el alto apuntamiento de la curtosis, 10,262.

Tabla 20. Estimadores de la mediana y percentiles de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del VV 1557

Estimadores M								
		Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>			
horas hombre parada		9,6936	8,2690	8,7130	8,2563			
a. La constante de ponderación es 1,339.								
b. La constante de ponderación es 4,685.								
c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500								
d. La constante de ponderación es 1,340*pi.								
		Percentiles						
		5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado (Definición 1)	horas hombre parada	,0000	1,6000	8,0000	8,0000	12,0000	37,2000	51,7000
Bisagras de Tukey	horas hombre parada			8,0000	8,0000	12,0000		

Fuente: Elaboración propia (2016).

La primera parte de esta tabla muestra los estimadores robustos centrales. Todos ellos oscilan alrededor de las 8,7 horas hombre por parada, lo que representa una estimación de la tendencia central más próxima al valor de la mediana (también 8 horas hombre por parada), que al de la media aritmética, que resulta muy elevado ( $X = 14,8947$ ).

La segunda parte de la tabla muestra los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95. Los valores de los percentiles muestran una distribución asimétrica positiva: la distancia entre el percentil 10 y el 50 es de 6,4 horas hombre por parada, mientras que entre el percentil 50 y el 90 es 29,2 horas hombre por parada, es decir, más de cuatro veces la distancia entre los percentiles 10 y 50.

Junto a los percentiles, se muestran las tres bisagras de Tukey, que en todos los casos coinciden con los valores del primer cuartil (percentil 25), segundo cuartil (mediana) y tercer cuartil (percentil 75).

Tabla 21. Estadísticos descriptivos de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

variador velocidad			Estadístico	Error estándar
horas	power	Media	17,7826	4,53958
hombre	flex 7000	95% de intervalo de confianza	Límite inferior	8,7240
parada		para la media	Límite superior	26,8412
		Media recortada al 5%	10,3349	
		Mediana	8,0000	
		Varianza	1421,937	
		Desviación estándar	37,7086	
		Mínimo	,00	
		Máximo	200,00	
		Rango	200,00	
		Rango intercuartil	8,00	
		Asimetría	4,155	,289
		Curtosis	17,019	,570

Fuente: Elaboración propia (2016).

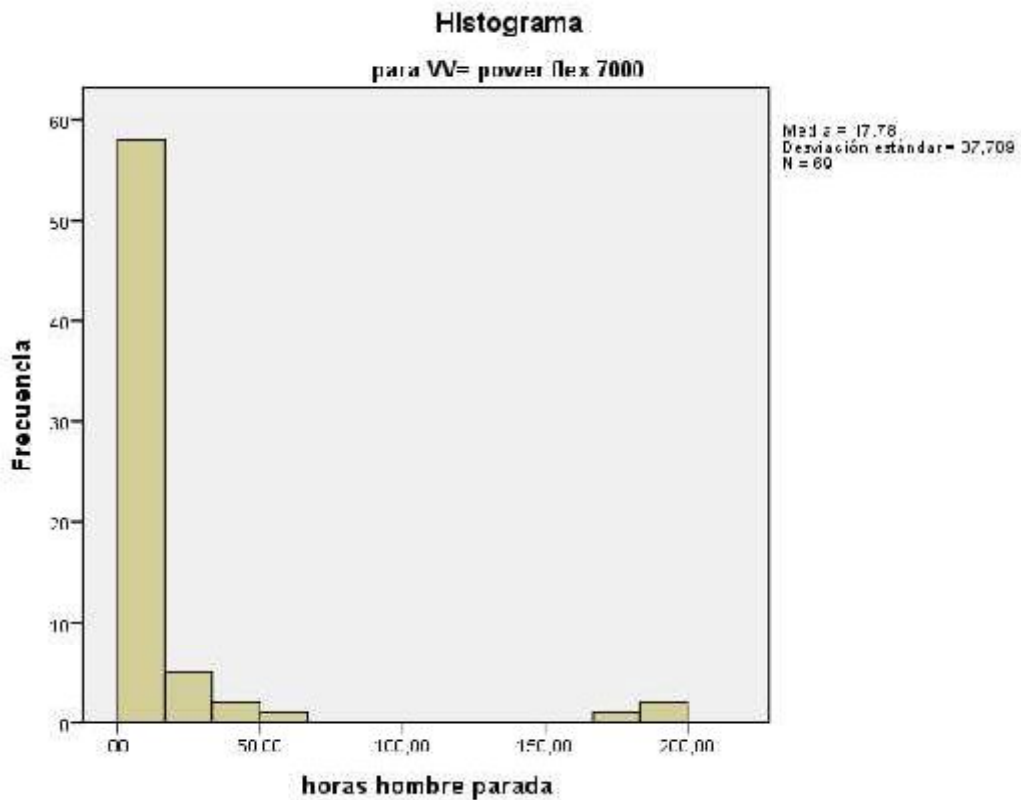


Figura 10. Histograma de frecuencias de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

Fuente: Elaboración propia (2016).



En lo que respecta a la duración de parada de los equipos, durante el periodo de uso del Power Flex 7000, las medidas de tendencia central también evidencian una disparidad entre sí que sugiere una distribución alejada de la normal. Por un lado, se alcanza un promedio de 17,7826 horas hombre de parada por equipo, con una desviación estándar de 37,70 horas. Por otro lado, la media recortada, se ubica en 10,3349 horas hombre, es decir, más de siete horas hombre por debajo del promedio. Y la mediana se ubica en ocho horas hombre, para una distribución cuyo valor mínimo es cero y el valor máximo 200. Esta ausencia de normalidad se refleja también en una asimetría positiva de 4,155 y en el notable apuntamiento expresado por una curtosis de valor 17,019.

Tabla 22. Estimadores de la mediana y percentiles de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del Power Flex 7000

Estimadores M								
		Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>			
horas hombre parada		8,1460	6,9822	7,4614	6,9584			
a. La constante de ponderación es 1,339.								
b. La constante de ponderación es 4,685.								
c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500								
d. La constante de ponderación es 1,340*pi.								
		Percentiles						
		5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado (Definición 1)	horas hombre parada	,5000	2,0000	4,0000	8,0000	12,0000	28,0000	111,5000
Bisagras de Tukey	horas hombre parada			4,0000	8,0000	12,0000		

Fuente: Elaboración propia (2016).

La primera parte de esta tabla muestra los estimadores robustos centrales. Todos ellos oscilan alrededor de las ocho horas hombre por parada, lo que representa una estimación de la tendencia central más próxima al valor de la mediana (también 8 horas hombre por parada), que al de la media aritmética, que resulta muy elevado ( $X = 17,7826$ ).

La segunda parte de la tabla muestra los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95. Los valores de los percentiles muestran una distribución asimétrica positiva: la distancia entre el percentil 10 y el 50 es de 6 horas hombre por parada, mientras que entre el percentil 50 y el 90 es 20 horas hombre por parada, es decir, más de tres veces la distancia entre los percentiles 10 y 50.

Junto a los percentiles, se muestran las tres bisagras de Tukey, que en todos los casos coinciden con los valores del primer cuartil (percentil 25), segundo cuartil (mediana) y tercer cuartil (percentil 75).

Tabla 23. Efecto del variador de velocidad en las *horas hombre por parada*

Prueba de Mann-Whitney

		Frecuencias				
		variador velocidad	N			
horas hombre parada	VV1557 (Control)		57			
	power flex 7000 (Experimental)		69			
	Total		126			

		Rangos			
		variador velocidad	N	Rango promedio	Suma de rangos
horas hombre parada	VV1557		57	68,36	3896,50
	power flex 7000		69	59,49	4104,50
	Total		126		

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
horas hombre parada	
U de Mann-Whitney	1689,500
W de Wilcoxon	4104,500
Z	-1,370
Sig. asintótica (bilateral)	,171

a. Variable de agrupación: variador velocidad

Fuente: Elaboración propia (2016).

Para analizar el impacto del upgrade del variador de velocidad en las *horas hombre por parada*, se ha utilizado la prueba de Mann – Whitney para muestras independientes. Para ello, se ha utilizado el criterio del p-valor, que permite rechazar la hipótesis nula, que sostiene que las distribuciones de probabilidad de los dos conjuntos de datos a comparar no difieren entre sí, para un nivel  $\alpha$  determinado, cuando el p-valor es menor que  $\alpha$ ; por el contrario, en caso de que el p-valor sea superior al  $\alpha$  determinado, se acepta la hipótesis nula (Pérez, 2005).

En ese sentido, si  $X_1$  es la distribución de probabilidad de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557, y  $X_2$  es la distribución de probabilidad de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del variador de velocidad Power Flex 7000, lo dicho se operacionaliza en los siguientes términos:

$H_0$  : Las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  son idénticas  $H_0$  :  $p > 0.05$

$H_a$  : Las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  difieren entre sí  $H_a$  :  $p \leq 0.05$

Como se observa en el cuadro, el  $p$  – valor (significación asintótica bilateral) es 0,171, no significativo para el nivel de significancia elegido ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia, se acepta la hipótesis nula que sostiene que las distribuciones  $X_1$  y  $X_2$  son idénticas. Por lo tanto, las distribuciones de probabilidad de los dos conjuntos de datos a comparar no difieren entre sí, o lo que es lo mismo, no hubo variación entre las horas hombres por parada que corresponden al periodo de uso del variador de velocidad Power Flex 7000 y las que corresponden al periodo de uso del variador de velocidad 1557.

## 4.2. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis planteadas, se ha seguido el criterio de contrastar, primero, las hipótesis específicas y, luego, la hipótesis general.

### *Primera hipótesis específica*

El enunciado de la primera hipótesis específica es el siguiente:

HE<sub>1</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Operacionalmente, y siguiendo el diseño de contrastación elegido, esta hipótesis se enuncia del siguiente modo:

HE<sub>1</sub> : La proporción de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 difiere significativamente de la proporción de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

Considerando que el procedimiento de categorización de la razón de mantenimiento permitió identificar las siguientes categorías comunes: tiempo de servicio y mal funcionamiento (tabla 3), se plantean las siguientes subhipótesis alternas con sus correspondientes subhipótesis nulas:

HE<sub>1.1</sub> : Existe diferencia entre la proporción de tiempo de servicio con VV1557

y la proporción de tiempo de servicio con Power Flex 7000.

HE<sub>1.1.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de tiempo de servicio con VV1557 y la proporción de tiempo de servicio con Power Flex 7000.

HE<sub>1.2</sub> : Existe diferencia entre la proporción de mal funcionamiento con VV1557 y la proporción de mal funcionamiento con Power Flex 7000.

HE<sub>1.2.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de mal funcionamiento con VV1557 y la proporción de mal funcionamiento con Power Flex 7000.

Las subhipótesis se operacionalizan del siguiente modo:

HE<sub>1.1</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>1.1.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>1.2</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>1.2.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

De la tabla 5, se tiene:

- Para tiempo de servicio,  $Z_e = 1,2163$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .
- Para mal funcionamiento,  $Z_e = 0,2381$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .

En consecuencia, se rechazan las dos subhipótesis propuestas, H<sub>1.1</sub> y H<sub>1.2</sub> y se aceptan las correspondientes subhipótesis nulas, H<sub>1.1.0</sub> y H<sub>1.2.0</sub>. En ese sentido, no existe diferencia entre la proporción de tiempo de servicio con VV1557 y la proporción de tiempo de servicio con Power Flex 7000; y no existe diferencia

entre la proporción de mal funcionamiento con VV1557 y la proporción de mal funcionamiento con Power Flex 7000.

Es decir, la proporción de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 no difiere significativamente de la proporción de la razón de mantenimiento durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

En conclusión, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto significativo en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).



### *Segunda hipótesis específica*

El enunciado de la segunda hipótesis específica es el siguiente:

HE<sub>2</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en el *motivo identificado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Operacionalmente, y siguiendo el diseño de contrastación elegido, esta hipótesis se enuncia del siguiente modo:

HE<sub>2</sub> : La proporción del *motivo consignado para mantenimiento* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 difiere significativamente de la proporción del *motivo consignado para mantenimiento* durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

Considerando que el procedimiento de categorización del *motivo consignado para mantenimiento* permitió identificar las siguientes categorías comunes: equipo sucio, contacto abierto y ninguno (tabla 7), se plantean las siguientes subhipótesis alternas con sus correspondientes subhipótesis nulas:

HE<sub>2.1</sub> : Existe diferencia entre la proporción de equipo sucio con VV1557 y la proporción de equipo sucio con Power Flex 7000.

HE<sub>2.1.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de equipo sucio con VV1557 y la proporción de equipo sucio con Power Flex 7000.

HE<sub>2.2</sub> : Existe diferencia entre la proporción de contacto abierto con VV1557 y

la proporción de contacto abierto con Power Flex 7000.

HE<sub>2.2.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de contacto abierto con VV1557 y la proporción de contacto abierto con Power Flex 7000.

HE<sub>2.3</sub> : Existe diferencia entre la proporción de ningún motivo con VV1557 y la proporción de ningún motivo con Power Flex 7000.

HE<sub>2.3.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de ningún motivo con VV1557 y la proporción de ningún motivo con Power Flex 7000.

La subhipótesis se operacionalizan del siguiente modo:

HE<sub>2.1</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>2.1.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>2.2</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>2.2.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>2.3</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>2.3.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

De la tabla 9, se tiene:

- Para equipo sucio,  $Z_e = 1,2293$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .
- Para contacto abierto,  $Z_e = 0,7277$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .
- Para ningún motivo,  $Z_e = 1,8210$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .

En consecuencia, se rechazan las tres subhipótesis propuestas, H<sub>2.1</sub>, H<sub>2.2</sub> y H<sub>2.3</sub>, y se aceptan las correspondientes subhipótesis nulas, H<sub>2.1.0</sub>, H<sub>2.2.0</sub> y H<sub>2.3.0</sub>. En ese

sentido, no existe diferencia entre la proporción de equipo sucio con VV1557 y su similar con Power Flex 7000; no existe diferencia entre la proporción de contacto abierto con VV1557 y su similar con Power Flex 7000; y no existe diferencia entre la proporción de ningún motivo con VV1557 y su similar con Power Flex 7000.

Es decir, la proporción del *motivo consignado para mantenimiento* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 no difiere de la proporción del *motivo consignado para mantenimiento* durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

En síntesis, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en el *motivo consignado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cujone (Moquegua).

### *Tercera hipótesis específica*

El enunciado de la tercera hipótesis específica es el siguiente:

HE<sub>3</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Operacionalmente, y siguiendo el diseño de contrastación elegido, esta hipótesis se enuncia del siguiente modo:

HE<sub>3</sub> : La proporción de la *causal de paro* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 difiere significativamente de la proporción de la *causal de paro* durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

Considerando que el procedimiento de categorización de la *causal de paro* permitió identificar las siguientes categorías comunes: ambiente polvoriento, término de vida útil, terminal suelto y falsa alarma (tabla 11), se plantean las siguientes subhipótesis alternas con sus correspondientes subhipótesis nulas:

HE<sub>3.1</sub> : Existe diferencia entre la proporción de ambiente polvoriento con VV1557 y la proporción de ambiente polvoriento con Power Flex 7000.

HE<sub>3.1.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de ambiente polvoriento con VV1557 y la proporción de ambiente polvoriento con Power Flex 7000.

HE<sub>3.2</sub> : Existe diferencia entre la proporción de término de vida útil con VV1557 y la proporción de término de vida útil con Power Flex 7000.

HE<sub>3.2.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de término de vida útil con VV1557 y la proporción de término de vida útil con Power Flex 7000.

HE<sub>3.3</sub> : Existe diferencia entre la proporción de terminal suelto con VV1557 y la proporción de terminal suelto con Power Flex 7000.

HE<sub>3.3.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de terminal suelto con VV1557 y la proporción de terminal suelto con Power Flex 7000.

HE<sub>3.4</sub> : Existe diferencia entre la proporción de falsa alarma con VV1557 y la proporción de falsa alarma con Power Flex 7000.

HE<sub>3.4.0</sub> : No existe diferencia entre la proporción de falsa alarma con VV1557 y la proporción de falsa alarma con Power Flex 7000.

La subhipótesis se operacionalizan del siguiente modo:

HE<sub>3.1</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>3.1.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>3.2</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>3.2.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>3.3</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>3.3.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

HE<sub>3.4</sub> :  $Z_e > Z_c$

HE<sub>3.4.0</sub> :  $Z_e < Z_c$

De la tabla 9, se tiene:

- Para ambiente polvoriento,  $Z_e = 0,9652$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .
- Para término de vida útil,  $Z_e = 2,8450$ . Por lo tanto,  $Z_e > Z_c$ .
- Para terminal suelto,  $Z_e = 0,1352$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .
- Para falsa alarma,  $Z_e = 0,1352$ . Por lo tanto,  $Z_e < Z_c$ .

En consecuencia, se rechazan tres de las cuatro subhipótesis propuestas,  $H_{3.1}$ ,  $H_{3.3}$  y  $H_{3.4}$ , y se aceptan sus correspondientes subhipótesis nulas,  $H_{3.1.0}$ ,  $H_{3.3.0}$  y  $H_{3.4.0}$ .

En ese sentido, no existe diferencia entre la proporción de ambiente polvoriento con VV1557 y su similar con Power Flex 7000; no existe diferencia entre la proporción de falsa alarma con VV1557 y su similar con Power Flex 7000; y no existe diferencia entre la proporción de terminal suelto con VV1557 y su similar con Power Flex 7000. Sin embargo, se acepta una de las cuatro subhipótesis propuestas,  $H_{3.2}$ , y se rechaza su correspondiente subhipótesis nulas,  $H_{3.2.0}$ .

Considerando que sólo una de las cuatro subhipótesis planteadas se acepta, se debe sostener que la proporción de la *causal de paro* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 no difiere de la proporción de la *causal de paro* durante el periodo de uso del Power Flex 7000, a excepción de lo que concierne a la categoría *término de vida útil*. En conclusión, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto significativo en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua), excepto en el *término de vida útil* de los equipos.

#### *Cuarta hipótesis específica*

El enunciado de la cuarta hipótesis específica es el siguiente:

HE<sub>4</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Operacionalmente, y siguiendo el diseño de contrastación elegido, esta hipótesis se enuncia del siguiente modo:

HE<sub>4</sub> : La distribución de la *duración de parada por equipo* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 difiere significativamente de la proporción de la *duración de parada por equipo* durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

La hipótesis se operacionaliza del siguiente modo:

HE<sub>4.1</sub> :  $p < \alpha$

HE<sub>4.1.0</sub> :  $p > \alpha$

Considerando que  $\alpha = 0,05$ , y de la tabla 18, se tiene:

- $p = 0,178$ . Por lo tanto,  $p < \alpha$ .

En consecuencia, se rechazan la hipótesis propuesta, H<sub>4.1</sub>, y se acepta la hipótesis nula, H<sub>4.1.0</sub>. En ese sentido, no existe diferencia entre la distribución de la

*duración de parada por equipo* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 y la distribución de la *duración de parada por equipo* durante el periodo de uso del Power Flex 7000. En conclusión, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).



### *Quinta hipótesis específica*

El enunciado de la quinta hipótesis específica es el siguiente:

HE<sub>5</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Operacionalmente, y siguiendo el diseño de contrastación elegido, esta hipótesis se enuncia del siguiente modo:

HE<sub>5</sub> : La distribución de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 difiere significativamente de la proporción de *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del Power Flex 7000.

La hipótesis se operacionaliza del siguiente modo:

HE<sub>5.1</sub> :  $p < \alpha$

HE<sub>5.1.0</sub> :  $p > \alpha$

Considerando que  $\alpha = 0,05$ , y los resultados de la tabla 23, se tiene:

- $p = 0,171$ . Por lo tanto,  $p < \alpha$ .

En consecuencia, se rechaza la hipótesis propuesta, H<sub>5.1</sub>, y se acepta la hipótesis nula, H<sub>5.1.0</sub>. En ese sentido, no existe diferencia entre la distribución de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del variador de velocidad 1557 y la

distribución de las *horas hombre por parada* durante el periodo de uso del Power Flex 7000. En conclusión, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

## Hipótesis general

El enunciado de la hipótesis general es el siguiente:

HG : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la disponibilidad de equipos, área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

Considerando que la hipótesis general se define en función de sus subhipótesis específicas, se identifica el siguiente sistema de hipótesis:

HG : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la disponibilidad de equipos, área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

---

HE<sub>1</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

HE<sub>2</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en el *motivo consignado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

HE<sub>3</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone

(Moquegua).

HE<sub>4</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

HE<sub>5</sub> : El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* ha tenido un impacto favorable en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

El sistema de hipótesis se operacionaliza del siguiente modo:

HG :  $D \rightarrow \nabla L$

---

HE<sub>1</sub> :  $\Delta V \rightarrow \Delta D_1$

HE<sub>2</sub> :  $\Delta V \rightarrow \Delta D_2$

HE<sub>3</sub> :  $\Delta V \rightarrow \Delta D_3$

HE<sub>4</sub> :  $\Delta V \rightarrow \Delta D_4$

HE<sub>5</sub> :  $\Delta V \rightarrow \Delta D_5$

donde,

V : *upgrade del variador de velocidad*

D : Disponibilidad de equipos

- D<sub>1</sub> : Razón de mantenimiento
- D<sub>2</sub> Motivo consignado para mantenimiento
- D<sub>3</sub> Causal de paro
- D<sub>4</sub> : Duración de parada por equipo
- D<sub>5</sub> : Horas hombre por parada

El sistema de hipótesis planteado se traduce en tres estados posibles de existencia respecto de la hipótesis general:

- 1) Que todas las subhipótesis sean aceptadas. Esto es, se rechazan todas las subhipótesis nulas.
- 2) Que algunas subhipótesis sean aceptadas. Esto es, se rechazan algunas subhipótesis nulas.
- 3) Que todas las subhipótesis sean rechazadas. Esto es, se aceptan todas las subhipótesis nulas.

En función de los estados posibles de existencia, se plantea el criterio de validación de la hipótesis general (HG):

CRITERIO	DECISIÓN
rechazo de toda subhipótesis nula	validación de HG
rechazo de algunas subhipótesis nulas	validación parcial de HG
aceptación de toda subhipótesis nula	invalidación de HG

De la contrastación de las hipótesis específicas (o subhipótesis), se tiene:

HIPÓTESIS	DECISIÓN	
	hipótesis propuesta	hipótesis nula
$HE_1 : \Delta V \rightarrow \Delta D_1$	se rechaza $H_1$	se acepta $H_{1.0}$
$HE_2 : \Delta V \rightarrow \Delta D_2$	se rechaza $H_2$	se acepta $H_{2.0}$
$HE_3 : \Delta V \rightarrow \Delta D_3$	se rechaza $H_3$	se acepta $H_{3.0}$
$HE_4 : \Delta V \rightarrow \Delta D_4$	se rechaza $H_4$	se acepta $H_{4.0}$
$HE_5 : \Delta V \rightarrow \Delta D_5$	se rechaza $H_5$	se acepta $H_{5.0}$

En síntesis, de las cinco hipótesis específicas propuestas, se rechazan todas. Por lo tanto, se invalida la hipótesis general propuesta. En conclusión, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en la disponibilidad de equipos, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua).

## CONCLUSIONES

### Primera

Como conclusión general, se encontró que el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto significativo en la disponibilidad de equipos, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). En ese sentido, el *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en la *razón de mantenimiento*, no ha tenido impacto en el *motivo consignado para mantenimiento*, no ha tenido impacto significativo en la *causal de paro*, no ha tenido impacto en la *duración de parada de equipo*, y no ha tenido impacto en las *horas hombre por parada*.

### Segunda

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en la *razón de mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). Considerando que, en este caso, se identificaron como razones de mantenimiento el tiempo de servicio de los equipos y el mal funcionamiento, se encontró que no existe diferencia entre la proporción de tiempo de servicio en función del variador de velocidad ( $Z_e = 1,2163$ ); y no existe diferencia entre la proporción de mal funcionamiento en función del variador de velocidad ( $Z_e = 0,2381$ ).

### Tercera

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en el *motivo consignado para mantenimiento*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). Considerando que, en este caso, se identificaron como motivos consignados para mantenimiento el equipo sucio, el contacto abierto y ninguno, se encontró que no existe diferencia entre la proporción de equipo sucio en función del variador de velocidad ( $Z_e = 1,2293$ ); no existe diferencia entre la proporción de contacto abierto en función del variador de velocidad ( $Z_e = 0,7277$ ); y no existe diferencia entre la proporción de ningún motivo en función del variador de velocidad ( $Z_e = 1,8210$ ).

### Cuarta

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto significativo en la *causal de paro*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua), excepto en el *término de vida útil* de los equipos. Considerando que, en este caso, se identificaron como causales de paro el ambiente polvoriento, el término de vida útil, las falsas alarmas y los terminales sueltos, se encontró que no existe diferencia entre la proporción de ambiente polvoriento en función del variador de velocidad ( $Z_e = 0,9652$ ); no existe diferencia entre la proporción de falsa alarma en función del variador de velocidad ( $Z_e = 0,1352$ ); y no existe diferencia entre la proporción de terminal suelto en función del variador de velocidad ( $Z_e = 0,1352$ ); aunque sí



existe diferencia significativa entre la proporción de término de vida útil en función del variador de velocidad ( $Z_e = 2,8450$ ).

#### Quinta

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en la *duración de parada de equipo*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). En ese sentido, no existe diferencia entre la distribución de la *duración de parada por equipo* en función del variador de velocidad ( $U = 1695,500$ ;  $p = 0,178$ ).

#### Sexta

El *upgrade del variador de velocidad para bomba de ciclones* no ha tenido impacto en las *horas hombre por parada*, en el área de molienda de la planta concentradora de Southern Perú, Cuajone (Moquegua). En ese sentido, no existe diferencia entre la distribución de las *horas hombre por parada* en función del variador de velocidad ( $U = 1689,500$ ;  $p = 0,171$ ).

## RECOMENDACIONES

Debido a que el Power Flex ha sido ya adquirido por la empresa y puesto en funcionamiento, las recomendaciones a efectuarse no pueden orientarse por la vertiente de la decisión en torno a su adquisición. Tampoco se puede recomendar un mejor aprovechamiento de este equipo, en tanto existen procedimientos establecidos para su uso, los que deben respetarse en el plano interno de la empresa hasta que existan razones suficientes para recomendar un uso diferente. En este estudio, no se aborda tampoco esa orientación. Por lo tanto, las recomendaciones se hacen considerando la posibilidad de efectuar una mejor aproximación y medición de las variables analizadas. En ese sentido, se proponen las siguientes recomendaciones:

### Primera

Analizar con mayor exhaustividad las razones que se toman en cuenta para emitir las órdenes de trabajo, a fin de establecer una categorización más precisa y eficiente de esta variable, considerando para ello no sólo información de una sola bomba, sino también de las otras bombas en uso.

### Segunda

Analizar la correspondencia entre la razón de mantenimiento y el motivo consignado para mantenimiento, a fin de establecer una medida de la precisión con que se atienden las órdenes de trabajo en función de información confiable y no dispersa y confusa.

### Tercera

Analizar la dependencia de la causal de paro en función de la razón de mantenimiento y del motivo consignado para mantenimiento, a fin de contar con una herramienta de diagnóstico de los paros mucho más eficaz que el procedimiento actualmente llevado a cabo.

### Cuarta

Afinar los procedimientos de registro de la duración de parada por equipo, a fin de contar con una base de datos confiable, que permita programar adecuadamente las paradas de equipo para efectos de mantenimiento preventivo.

### Quinta

Analizar la información registrada en cuanto a horas hombre por parada, a fin de programar adecuadamente los paros de equipo y personal, en función de la correspondencia entre disponibilidad de equipo y personal, de modo que su presencia en la empresa sea mejor aprovechada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, I. (2009). *Estudio de optimización de costos de operación de una flota de scooptrams en una mina subterránea*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de ingeniería, Lima, Perú.
- Berenson, D. & Levine, M. (1996). *Estadística básica en Administración. Conceptos y aplicaciones*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Burga, V. (2016). Riesgos que enfrenta la minería en el 2016. *Desde Adentro Revista de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*, 149, 12-13.
- Campbell, J.D. (1999). The Reliability Handbook. *Plant Engineering and Maintenance*, 23(6), December, 1-50.
- Canales, A., Pacheco, P.P. & Sarno, E.G. (2006). Modelo Gerencial de Mantenimiento. Fundamento filosófico. *Reliability World*, 5 a 9 junio, Monterrey, Nuevo León, México.
- Casas, C. (2015). El impacto de la minería en el Perú. *Desde Adentro Revista de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*, 70 - 76.
- Chávez, J. (2015). Minería y desarrollo nacional. Palanca efectiva para reducir la pobreza. *Desde Adentro Revista de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*, 145, 48-55.
- De Echave, J., Diez, A., Huber, L., Revesz, B., Lanata, X.R. & Tanaka, M. (2009). *Minería y conflicto social*. Lima: CBC, CIPCA, CIES, IEP.
- Díaz, L. (2013). Análisis de no disponibilidad de los equipos. *Seguridad Minera*, 57. Disponible en <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/analisis-de-no-disponibilidad-de-los-equipos/>
- Escamilla, M., Meza, J. & Llamas, R. (2011). Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina de Mineral de Fierro a Cielo Abierto. *Conciencia Tecnológica*, 42, 26-30.

- Frech, O. (2015). La tecnología en la minería de hoy. *Desde Adentro Revista de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*, 145, 20-22.
- Glave, M. & Kuramoto, J. (2007). La minería peruana: lo que sabemos y lo que aún nos falta por saber. En: *Investigación, políticas y desarrollo en el Perú*. Lima: GRADE. p. 135-181.
- Grufides, CooperAcción & Fedepaz. (2014). *14° Observatorio de Conflictos Mineros en el Perú. Reporte primer semestre 2014*. Lima: Grufides, CooperAcción y Fedepaz.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación científica*. México: McGraw Hill / Interamericana.
- Jiménez, A.J. (2011, octubre 24). *Mantenimiento LA*. Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias. [Mensaje en blog]. Disponible en <http://maintenancela.blogspot.pe/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html>
- Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid: ISDEFE Publicaciones de Ingeniería de Sistemas.
- Marcum, D., Smith, S. & Khalsa, M. (2003). *Business Think*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Mejía, J.C. (2015). Tendencias y desafíos de la minería en el Perú. Impactos internos y externos en el sector. *Desde Adentro. Revista de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*, 145, setiembre, 14-17.
- Melo-González, R., Lara-Hernández, C. & Jacobo-Gordillo, F. (2009). Estimación de la confiabilidad – disponibilidad – mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 24(2), 93-104.
- Mesa, D.H., Ortiz, Y. & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 12(30), 155 - 160.

- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *La importancia de la minería en el Perú*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/A4803CB89786DBC105257E600071021C/\\$FILE/LA\\_IMPORTANCIA\\_MINERIA\\_EN\\_EL\\_PERU.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A4803CB89786DBC105257E600071021C/$FILE/LA_IMPORTANCIA_MINERIA_EN_EL_PERU.pdf)
- Morales, O.A. (2009). *Fundamentos de la investigación documental y la monografía*. Departamento de Investigación, Facultad de Odontología, Universidad de los Andes, Colombia.
- Morales, R.A. (2013). *Confiabilidad de un modelo económico de costo mina*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas. Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Nachlas, J.A. (1995). *Fiabilidad*. Madrid: ISDEFE Publicaciones de Ingeniería de Sistemas.
- Pérez, C. (2005). *Técnicas estadísticas con SPSS 12. Aplicaciones al análisis de datos*. México: Pearson Educación.
- Pfeffer, J. & Sutton, R.I. (2007). *El fin de la superstición en el management*. Barcelona: Ediciones Urano.
- Rockwell Automation. (2007). *Listen. Think. Solve. Variador de Media Tensión en CA Power Flex 7000 – enfriado por aire (tamaño “B”). Bulletin 7000. Manual del usuario*. Milwaukee: Rockwell International Corporation.
- Rockwell Automation. (2013). *Allen – Bradley. Medium Voltage AC Drive. Bulletin 1557. User Manual*. Milwaukee: Rockwell International Corporation.
- Rojas, I.R. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar*, 12(24), 277-297.
- Sierra, R. (1999). *Tesis doctorales y trabajos de investigación científica*. Madrid: Paraninfo.

Stoner, J.F.R., Freeman, R.E. & Gilbert, D.R. (1996). *Administración*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

Tanaka, M., Huber, L., Revesz, B., Diez, A., Ricarrd, X. & de Echave, J. (2007). Minería y conflicto Social. *Economía y Sociedad*, 65, CIES, octubre, 7-17.