



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aplicación de una estrategia de mantenimiento basado en condiciones para
mejorar la confiabilidad de los equipos en el área de flotación de una
compañía minera, Perú 2019

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

AUTORES:

David Huillca Canales (ORCID: 0000-0003-1294-2719)

Nancy María Suzanibar Maurate (ORCID: 0000-0002-4370-592X)

ASESOR:

Mg. Marcial Rene Zúñiga Muñoz (ORCID: 0000-0002-4058-064X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA - PERÚ

2019

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado primero a Dios por darnos la vida y sabiduría, en segundo lugar, a nuestros padres porque son nuestro motor y motivo para seguir avanzando en nuestra vida profesional; por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios que nos permitió tener una experiencia dentro de la universidad, a nuestros padres por brindarnos apoyo moral y económico, a nuestro asesor Mg. Marcial Zuñiga, a través de su nivel académico nos guio en el desarrollo de la tesis.

Página del jurado

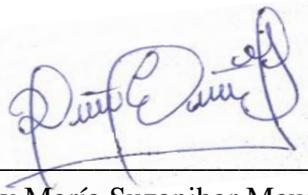
Declaratoria de autenticidad

Yo David Huillca Canales, Nancy María Suzanibar Maurate con DNI N.º 46736498, DNI N.º 70303263, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 10 de diciembre del 2019



David Huillca Canales
DNI: 46736498



Nancy María Suzanibar Maurate
DNI: 70303263

Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones para mejorar la Confiabilidad de los Equipos en el Área de Flotación de una Compañía Minera, Perú 2019”, cuyo propósito es diagnosticar y predecir las constantes fallas utilizando una estrategia de mantenimiento para determinar en qué momento ocurrirán las fallas de los equipos en el área de flotación de una compañía Minera, para mejorar la Confiabilidad y Disponibilidad del equipo. Y que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial.

La presente investigación está dividido en ocho capítulos, en el capítulo I, se presenta la introducción, trabajos previos, teorías relacionadas al tema, la formulación del problema, justificación del estudio, hipótesis y objetivos; el capítulo II, contiene el diseño de la investigación, las variables y su operacionalización, población, muestra, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos, así como la validez y confiabilidad de los mismos, el método de análisis de datos y los aspectos éticos; en el capítulo III, se muestran los resultados a través de la estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones una herramienta de Mantenimiento que ayudara a predecir y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos en la empresa. En el capítulo IV, se expone la discusión de los resultados. En el capítulo V se dan a conocer las conclusiones. En el capítulo VI se redactan las recomendaciones. Por último, en el capítulo VII se tienen las referencias y en el capítulo VIII se muestran los anexos de la investigación.



David Huillca Canales
DNI: 46736498



Nancy María Suzanibar Maurate
DNI: 70303263

Índice

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xv
Resumen.....	xvii
Abstract	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	2
1.2 Trabajos previos	15
1.2.1 Antecedentes internacionales	15
1.2.2 Antecedentes nacionales	20
1.2.3 Artículos científicos	25
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	26
1.3.1 Tema asociado a la variable independiente.....	30
1.3.2 Tema asociado a la variable dependiente.....	52
1.4 Formulación del problema	54
1.4.1 Problema general	54
1.4.2 Problemas específicos	54
1.5 Justificación del estudio	55
1.5.1 Justificación metodológica	55
1.5.2 Justificación económica	55
1.5.3 Justificación práctica	56
1.6 Hipótesis.....	56
1.6.1 Hipótesis general.....	56
1.6.2 Hipótesis específicas	57
1.7 Objetivos	57
1.7.1 Objetivo general.....	57
1.7.2 Objetivos específicos.....	57

II.	MÉTODO	59
2.1	Diseño de la investigación	60
2.1.1	Cuasi experimental.....	60
2.1.2	Tipo de investigación.....	60
2.2	Variables, Operacionalización	61
2.2.1	Variables.....	61
2.2.2	Matriz de operacionalización de las variables:	64
2.3	Población y muestra.....	66
2.3.1	Población.....	66
2.3.2	Muestra	66
2.3.3	Muestreo.....	67
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	67
2.5	Técnicas de recolección de datos.....	67
2.5.1	Instrumentos.....	68
2.5.2	Validez	69
2.5.3	Confiabilidad	69
2.6	Métodos de análisis de datos.....	70
2.6.1	Análisis descriptivo.....	70
2.6.2	Análisis inferencial.....	70
2.7	Aspectos éticos.....	71
2.8	Proceso de mejora	72
2.8.1	Generalidades	72
2.8.2	Identificar la problemática	82
2.8.3	Implementación de metodología.....	100
2.8.4	Análisis costo beneficio	155
III.	RESULTADOS	156
3.1	Análisis de los resultados estadísticos	157
3.1.1	Análisis estadístico descriptivo	160
3.1.2	Análisis estadístico – inferencial	171
IV.	DISCUSIÓN	179
V.	CONCLUSIONES	182
VI.	RECOMENDACIONES	184
VII.	REFERENCIAS	186
VIII.	ANEXOS	193

Índice de tablas

Tabla 1. Relación de equipos del área de flotación	5
Tabla 2. Causas del problema de los equipos de flotación	7
Tabla 3. Matriz relacional de las causas encontradas	10
Tabla 4. Número de ocurrencias de las causas encontradas	11
Tabla 5. Estratificación de causas por tareas	13
Tabla 6. Estratificación.....	13
Tabla 7. Solución en base a alternativas.....	14
Tabla 8. Mantenimiento basado en condiciones para mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de flotación de una compañía minera, Perú 2019	64
Tabla 9. Juicio de expertos	69
Tabla 10. Relación de equipos críticos.....	84
Tabla 11. Datos de lubricación	111
Tabla 12. Lista de torques de ajuste	111
Tabla 13. Detección de fallos funcionales.....	112
Tabla 14. Reporte de inspección.....	113
Tabla 15. Fichas técnicas.....	114
Tabla 16. Formato de ficha de registro.....	115
Tabla 17. Ficha de registro de modo de fallos.....	116
Tabla 18. Fallas funcionales de los equipos	117
Tabla 19. Porcentaje asociado a la severidad	118
Tabla 20. Tabla de evaluación de severidad.....	118
Tabla 21. Evaluación de ocurrencias	120
Tabla 22. Tabla evaluación de detectabilidad	120
Tabla 23. Tabla de severidad.....	121
Tabla 24. Tabla de evaluación de ocurrencias.....	122
Tabla 25. Tabla de detectabilidad.....	123
Tabla 26. Tabla de análisis de criticidad funcional	124
Tabla 27. Resultado de tabla de análisis de criticidad funcional.....	124
Tabla 28. Presupuesto de implementación	125
Tabla 29. Reporte de condiciones de la maquinaria.....	138
Tabla 30. Análisis costo beneficio.....	155

Tabla 31. Tabla de comparación sobre la inspección de equipos pre / post obtenida..	157
Tabla 32. Tabla de comparación sobre la implementación de equipos pre / post	158
Tabla 33. Tabla de comparación sobre el monitoreo pre / post obtenida.....	159
Tabla 34. Tabla de estadística descriptiva de la variable dependiente confiabilidad...	160
Tabla 35. Estadística descriptiva de la dimensión tiempo medio entre fallas	163
Tabla 36. Estadística descriptiva de la dimensión tiempo medio de reparación	166
Tabla 37. Estadística descriptiva de la variable dependiente disponibilidad	168
Tabla 38. Prueba de normalidad de datos de variable confiabilidad.....	172
Tabla 39. Estadígrafos a utilizar	172
Tabla 40. Comparación de medias de variable confiabilidad antes y después con T de Student.....	173
Tabla 41. Prueba de muestras emparejadas de variable confiabilidad	173
Tabla 42. Prueba de normalidad dimensión disponibilidad	174
Tabla 43. Estadísticas de muestra emparejadas de la dimensión disponibilidad.....	175
Tabla 44. Prueba de muestras relacionadas dimensión disponibilidad	175
Tabla 45. Prueba de normalidad de la dimensión tiempo medio entre fallas (Shapiro-Wilk).....	176
Tabla 46. Estadístico de muestras relacionadas de la dimensión tiempo medio entre fallas	176
Tabla 47. Prueba de muestras relacionadas con T-student dimensión tiempo medio entre fallas	177
Tabla 48. Prueba de normalidad de la dimensión tiempo medio de reparación (shapiro-Wilk).....	177
Tabla 49. Estadístico de muestras relacionadas de la dimensión tiempo medio de reparación	178
Tabla 50. Prueba de muestras relacionadas con T-student dimensión tiempo medio de reparación	178

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de causa – efecto de baja disponibilidad de equipos en el área de celda de flotación, en una compañía minera.....	8
Figura 2. Diagrama de Pareto 80 -20.....	11
Figura 3. Diagrama de estratificación.....	13
Figura 4. Celda de flotación. Fuente Chen et al. (2017), p.18.....	27
Figura 5. Celda de flotación partes. Fuente manual celda RCS	29
Figura 6. Esquema de estrategia de mantenimiento, por Mora. 2009. p.31	33
Figura 7. Esquema del funcionamiento del MBC, por Mora. 2009. p.334	34
Figura 8. Condición probable de falla con respecto al tiempo, por Ho y Bae (2015) p.122	36
Figura 9. Clasificación de las 6 grandes pérdidas. Cuatrecasas y Torell (2010) p.65	37
Figura 10. Estructura arbórea. Goodfellow (2000), Aquino (2018), p.17.....	38
Figura 11. Codificación de equipos. Ho y Bae (2015) p.124	39
Figura 12. Factor de criticidad de la máquina. Márquez (2015), p.43	43
Figura 13. Factor de ocurrencia de falla. Márquez (2015), p.45	44
Figura 14. Cociente de elementos de confiabilidad. Márquez (2015), p.45.....	45
Figura 15. Matriz de criticidad global de la máquina. Márquez (2015), p.47.....	46
Figura 16. Indicador básico de mantenimiento	53
Figura 17. Matriz de coherencia	58
Figura 18. Empresa TAMCI.....	72
Figura 19. Plano en el área de flotación	76
Figura 20. Plano del área de mantenimiento	77
Figura 21. Ubicación de la planta.....	79
Figura 22. Proceso general de la empresa	80
Figura 23. Diagrama de proceso de mantenimiento	81
Figura 24. Equipos críticos del área de flotación	82
Figura 25. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – inspección de agosto	88
Figura 26. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – inspección de setiembre 89	89
Figura 27. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Pre-Test	90
Figura 28. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – implementación de agosto	91

Figura 29. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – implementación de setiembre.....	92
Figura 30. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Pre-Test.....	93
Figura 31. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – monitoreo de agosto.....	94
Figura 32. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – monitoreo de setiembre	95
Figura 33. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Pre-Test.....	96
Figura 34. Cronograma de fallas Pre_Tes	97
Figura 35. Ficha de recolección de datos Pre-Test - confiabilidad	98
Figura 36. Ficha de recolección de datos Pre-Test – disponibilidad.....	98
Figura 37. Ficha de recolección de datos Pre-Test –MTBF	99
Figura 38. Ficha de recolección de datos Pre-Test – MTTR.....	99
Figura 39. Cronograma de actividades	100
Figura 40. Estructura arbolea	102
Figura 41. Inventario de equipos de celda de flotación.....	103
Figura 42. Codificación de equipos.....	104
Figura 43. Hoja de vida de equipos	105
Figura 44. Formato de funciones específicas sistema de transmisión.....	107
Figura 45. Formato de funciones específicas sistema mecánico.....	108
Figura 46. Formato de funciones específicas sistema mecánico.....	109
Figura 47. Formato de funciones específicas sistema mecánico.....	110
Figura 48. Rango de criticidad	124
Figura 49. Estándar ISO 10816	127
Figura 50. Esquema de los puntos de inspección	131
Figura 51. Rutas de muestreo	132
Figura 52. Diagrama de procesos de mantenimiento Post – Test.....	134
Figura 53. Programa de inspección mensual.....	135
Figura 54. Programa de inspección mensual.....	136
Figura 55. Fotos tomadas en el proceso de implementación del mantenimiento basado en condiciones	139
Figura 56. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – inspección de octubre	143
Figura 57. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – inspección de noviembre	144
Figura 58. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Post-Test.....	145

Figura 59. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – implementación de octubre	146
Figura 60. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – implementación de noviembre	147
Figura 61. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Post-Test	148
Figura 62. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – monitoreo de octubre	149
Figura 63. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – monitoreo de noviembre	150
Figura 64. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Post-Test	151
Figura 65. Cronograma de fallas Post_Test.....	152
Figura 66. Ficha resumida de recolección de datos de confiabilidad Post-Test.....	153
Figura 67. Ficha resumida de recolección de datos de disponibilidad Post-Test	153
Figura 68. Ficha resumida de recolección de datos de MTBF Post-Test	154
Figura 69. Ficha resumida de recolección de datos de MTTR Post-Test.....	154
Figura 70. Resultado sobre inspección de equipos – pre / post.....	157
Figura 71. Resultado sobre implementación – pre / post	158
Figura 72. Resultado sobre monitoreo de equipos – pre / post.....	159
Figura 73. Diagrama de frecuencia de la variable confiabilidad antes de la aplicación de la estrategia CBM	161
Figura 74. Diagrama de frecuencia de la variable confiabilidad antes de la aplicación de la estrategia CBM	161
Figura 75. Diagrama de cajas del indicador tiempo medio entre fallas	162
Figura 76. Diagrama normal de la variable confiabilidad	162
Figura 77. Diagrama de frecuencia del tiempo medio entre fallas.....	163
Figura 78. Diagrama de frecuencia antes de la aplicación del CBM de la dimensión tiempo medio entre fallas	165
Figura 79. Diagrama de frecuencia después de la aplicación del CBM de la dimensión tiempo medio entre fallas.	165
Figura 80. Diagrama de cajas del indicador tiempo medio entre fallas	165
Figura 81. Diagrama de frecuencia del tiempo medio entre fallas.....	166
Figura 82. Diagrama de frecuencia, dimensión tiempo medio de reparación antes de la aplicación del CBM.....	167
Figura 83. Diagrama de frecuencia dimensión tiempo medio de reparación después de la aplicación del mantenimiento	167

Figura 84. Diagrama de cajas de la dimensión tiempo medio de reparación antes y después de la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en condiciones....	168
Figura 85. Diagrama de frecuencia de la variable disponibilidad antes de la aplicación del mantenimiento basado en condiciones.	169
Figura 86. Frecuencia de la variable disponibilidad después de la aplicación del mantenimiento basado en condiciones.	169
Figura 87. Diagrama normal de la variable de disponibilidad.	170
Figura 88. Diagrama de cajas de la variable disponibilidad.....	170

Índice de anexos

Anexo N° 1. Matriz de coherencia	194
Anexo N° 2. Matriz de operacionalización de las variables	195
Anexo N° 3. Carta de presentación de la empresa	197
Anexo N° 4. Diagrama causa y efecto	198
Anexo N° 5. Diagrama de Pareto	199
Anexo N° 6. Matriz de estratificación	200
Anexo N° 7. Solución en base a alternativas	200
Anexo N° 8. Juicio de expertos N° 1	201
Anexo N° 9. Juicio de expertos N° 2	202
Anexo N° 10. Juicio de expertos N° 3	203
Anexo N° 11. Ficha técnica de cronómetro digital Casio HS-80TW	204
Anexo N° 12. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Pre-Test.....	205
Anexo N° 13. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Pre-Test ..	205
Anexo N° 14. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Pre-Test	206
Anexo N° 15. Ficha de detección de fallas Pre - Test	207
Anexo N° 16. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – confiabilidad	208
Anexo N° 17. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – disponibilidad.....	208
Anexo N° 18. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – MTBF.....	209
Anexo N° 19. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – MTTR	209
Anexo N° 20. Fotos antes de la mejora	210
Anexo N° 21. Solicitud de información contable dirigido a TAMCI SRL	212
Anexo N° 22. Respuesta de TAMCI SRL de información contable	213
Anexo N° 23. Respuesta de TAMCI SRL de información contable	214
Anexo N° 24. Plano de celda de flotación	215
Anexo N° 25. Fotos tras la implementación del CBM	216
Anexo N° 26. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Post-Test	219
Anexo N° 27. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Post-Test	219
Anexo N° 28. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Post-Test.....	220
Anexo N° 29. Cronograma de fallas Post_Test.....	221
Anexo N° 30. Ficha resumida de recolección de datos de confiabilidad Post-Test	222
Anexo N° 31. Ficha resumida de recolección de datos de disponibilidad Post-Test ...	222

Anexo N° 32. Ficha resumida de recolección de datos de MTBF Post-Test	223
Anexo N° 33. Ficha resumida de recolección de datos de MTTR Post-Test	223
Anexo N° 33. Normas operativas ante tormentas eléctricas	224

Resumen

La presente Tesis es de tipo cuantitativo y cuasi experimental cuyo objetivo es determinar como la Implementación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de Celda de Flotación en una compañía Minera, 2019. Además, el tipo de investigación fue aplicada y a la vez explicativa con la finalidad de constituir el efecto de sus variables, en búsqueda de la mejora continua y la calidad de la investigación cuyo problema principal son las constantes paradas de equipos a causa de fallas, la población estuvo constituida de 16 semanas por el número de máquinas críticas semanales correspondientes a los equipos en el Área de Flotación.

La empresa TAMCI se encarga de prestar servicios de mantenimiento de los equipos de la celda de flotación dentro de la actividad Minera, una de ellas es la Minera Antapaccay situada en la región de Cusco, el servicio de mantenimiento se realiza en el Área de Flotación con 24 celdas, las dos primeras celdas de cada fila corresponde a una flotación Rapper de alto concentrado (Maquinas Críticas), las celdas restantes corresponde a una Flotación Rapper Skanber, posee un concentrado de baja ley , a estas celdas se realiza su respectivo mantenimiento de acuerdo al cronograma de la minera.

Se empleó la estrategia de mantenimiento basada en condiciones, aplicando las siete fases, para determinar el modo de fallo de los equipos de celda de flotación de manera jerárquica utilizando la técnica de Análisis de Criticidad, el resultado determina que herramienta se puede utilizar, en la presente investigación se trabaja con la herramienta de análisis de vibraciones, ultra sonido, Monitoreo de temperatura (termografía) e inspección visual, para determinar la causa crítica de Falla para realizar un plan de mantenimiento.

Es importante mencionar que la muestra siguió una distribución normal mediante el software SPSS versión 24. Al finalizar el presente estudio se llegó a la conclusión que la estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la confiabilidad de los equipos de celda de flotación en una Compañía Minera.

Palabras Claves: Mantenimiento Basado en Condiciones, Confiabilidad, Modo de Falla

Abstract

This thesis is quantitative and quasi-experimental, whose objective is to determine how the Implementation of a Maintenance Strategy Based on Conditions improves the Reliability of the Flotation Cell equipment in a Mining company, 2019. In addition, the type of research was already applied the explanatory time with the purpose of constituting the effect of its variables, in search of continuous improvement and the quality of the research whose main problem is the constant shutdowns of equipment due to failures, the population was constituted of 16 weeks by the number of weekly critical machines corresponding to the equipment in the Flotation Area.

The company TAMCI is responsible for providing maintenance services of the flotation cell equipment within the Mining activity, one of them is the Antapaccay Mining located in the region of Cusco, the maintenance service is performed in the Flotation areas with 24 cells, the first two cells of each row correspond to a high-concentrated Rapper flotation (Critical Machines), the remaining cells correspond to a Rapper Skanber Flotation, it has a low grade concentrate, these cells perform their respective maintenance according to the Mining schedule.

The condition-based maintenance strategy was used, applying the seven phases, to determine the failure mode of the flotation cell equipment in a hierarchical manner using the Critical Analysis technique, the determined result which tool can be used, in the This research works with the tool of vibration analysis, ultra sound, temperature monitoring (thermography) and visual inspection, to determine the critical cause of failure to carry out a maintenance plan.

It is important to mention that the sample followed a normal distribution through SPSS version 24 software. At the end of this study, it was concluded that the Condition-Based Maintenance strategy improves the reliability of flotation cell equipment in a Mining Company.

Keywords: Condition Based Maintenance, Reliability, Failure Mode

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Análisis internacional

Las empresas líderes a nivel global empiezan a ver reflejados los problemas que suceden en la producción principalmente en paros de máquinas, estas vienen presentando fallas debido al uso que se les da a lo largo del tiempo. Según Yin, Ding y Zhou (2016) indicaron:

Debido a la creciente complejidad del sistema industrial, nuevos desafíos se encuentran en el diagnóstico y pronóstico de este tipo de sistemas complicados, y se necesitan enfoques de supervisión de procesos más eficiente. Desde este punto de vista, los trabajos incluidos en esta sección especial se centraron en los recientes desarrollos de diagnóstico y pronóstico para los sistemas industriales complejos, proporcionando nuevas ideas y direcciones de referencia, tanto para las comunidades académicas e industriales. (p.3201)

Uno de los factores más frecuentes en las industrias es la falla de equipos por ausencia de diferentes factores, uno de ellos es la falta de mantenimiento. Según Kisic et al. (2015), explican: “En la industria actual, detección de fallas y mantenimiento preventivo. Son las tareas más importantes para garantizar la fiabilidad y seguridad de procesos automatizados y altamente complejos. Son dos enfoques principales para la detección de fallas y el aislamiento (p.1).

Además, la Gestión de Mantenimiento, es parte importante de las empresas, porque aseguran la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas y a su vez la producción de bienes y/o servicios de forma eficiente a su cadena de producción, garantizando la disminución de los costos por mantenimiento. Según Xia et al. (2015), manifiesta:

Pronóstico de estado de la máquina significa la capacidad no sólo para evaluar estados actuales de la salud de una máquina de deterioro, sino también para pronosticar los futuros estados de salud para la programación del mantenimiento. Los métodos de pronóstico formales y sistemáticos son muy necesarios para incorporar información en línea disponible de estado de salud de la máquina en un programa de mantenimiento dinámico que explota las

oportunidades de mantenimiento en tiempo real, en lugar de a través del tiempo. (p. 270).

Análisis nacional

Por otro lado, en la actualidad, la mayoría de las empresas mineras en el Perú, utilizan Gestión de Mantenimiento que asocia una serie de actividades cuya realización permite obtener el grado de confiabilidad en los equipos y máquinas para conservar la vida útil de estos y mantener los estándares de la producción en los niveles deseados.

El sector minero en el Perú, es uno de los pilares de la economía peruana y las exportaciones. La minería aporta un 20% de los ingresos fiscales, la cual contribuye alrededor del 15% del PBI nacional y el 60% de las exportaciones. La mayoría de las minas en el Perú se concentra en los Andes. Los principales productos mineros del Perú son la plata, el cobre, el zinc, el estaño, el bismuto y el teluro (Diario Gestión, 2016).

Así mismo, el movimiento minero tiene un impacto significativo en el crecimiento económico de los países: basta con observar su contribución en el producto bruto interno y, en especial, la participación de las exportaciones mineras en la balanza comercial. La minería es una actividad importante al respecto, Benavides (2012), señala que:

En la actualidad, la minería es la columna vertebral de la economía del Perú. Nuestro país ha obtenido un lugar importante en la producción minera mundial, ubicándose entre los principales países productores de plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro (p.14).

Por otra parte, el método de predicción basado en datos tiene un amplio rango. Es el método más práctico y se ha convertido en el foco de investigación y la tendencia de desarrollo en el campo del diagnóstico y predicción de fallas. De acuerdo con Wang y Vachtsevanos (2001) dijeron:

Los Modos de fallo de la máquina están presentando una carga importante para el operador, la planta, y la empresa; influyen en el tiempo de inactividad significativa, en los costes laborales y en los ingresos reducidos. Las nuevas tecnologías están surgiendo en los últimos años para controlar el rendimiento de

la máquina, detectar y aislar fallos incipientes o fallos, y tomar las acciones apropiadas para mitigar este tipo de eventos perjudiciales. (p.1)

Por tanto, existen estrategias de fallas que servirán para evaluar todas las condiciones de una máquina que además sean confiables, de fácil mantenimiento y con funcionamiento seguro y de bajo costo durante su vida útil. Según Xia et al. (2015)

Pronósticos es una ciencia emergente de predecir el estado de salud de un sistema y / o sus componentes, basado en el estado del sistema actual y el anterior, con el objetivo final de la predicción precisa de la vida útil restante (RUL). Basándose en esta suposición, los componentes / sistemas pueden ser monitoreados para realizar el seguimiento del estado de salud durante el funcionamiento. (p. 273)

Más aun, el Mantenimiento Basado en Condiciones ha acogido una gran aplicación en los posteriores años por su eficacia en la mejora de la fiabilidad y reducir los costos. Xia et al. (2015) indicó: “Para cumplir con los rápidos cambios del mercado y asegurar el éxito económico de un sistema de producción, se requiere esencialmente un pronóstico preciso para el pronóstico de la salud de la máquina, para lograr buenos resultados” (p.279).

Además, Predecir la vida útil restante (RUL) de equipos, es una tarea importante que contribuye a la reducción de fallos inesperados y costos de mantenimiento. Con respecto, Sánchez et al. (2015) explicaron:

Un sistema de pronóstico fiable ofrece algunos beneficios en términos de ahorro de costes financiera y seguridad. El requisito previo que beneficia los pronósticos es la correcta detección de fallo por un sistema de diagnóstico eficiente porque la decisión de diagnóstico dispara el sistema de pronóstico. (p.3)

Análisis de la empresa

Así mismo, la empresa, TAMCI S.R.L es una empresa peruana conformada por un grupo de ingenieros, técnicos y especialistas en aplicaciones y diseño de sistemas, en diversos campos relacionados en el rubro de electromecánica. Los principales servicios que realiza la compañía son proyectos de Automatización y Mantenimiento general de equipos Mineros. Según Lannoy y Procaccia (2014), indicaron que:

La experiencia es muy útil para el suministro de datos, cuando las observaciones no son suficiente entonces están disponibles la estimación de la incertidumbre de los parámetros y la cuantificación de los modelos de análisis de riesgo, que son insumos de un proceso de toma de decisiones. (p.1)

Determinación del problema:

La empresa TAMCI se encarga de prestar servicios de mantenimiento de los equipos de la celda de flotación dentro de la actividad Minera, una de ellas es la Minera Antapaccay situada en la región de Cusco, en la provincia de Espinar, el servicio de mantenimiento se realiza en las áreas de Flotación de acuerdo al cronograma de la minera según se muestra.

Tabla 1. Relación de equipos del área de flotación

ÍTEM	EQUIPO	UBICACIÓN	EQUIPO
1	Celda de Flotación RCS01	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
2	Celda de Flotación RCS02	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
3	Celda de Flotación RCS03	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
4	Celda de Flotación RCS04	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
5	Celda de Flotación RCS05	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
6	Celda de Flotación RCS06	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
7	Celda de Flotación RCS07	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
8	Celda de Flotación RCS08	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
9	Celda de Flotación RCS09	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
10	Celda de Flotación RCS10	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
11	Celda de Flotación RCS11	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
12	Celda de Flotación RCS – 0012	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
13	Celda de Flotación RCS – 0013	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
14	Celda de Flotación RCS – 0014	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
15	Celda de Flotación RCS – 0015	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
16	Celda de Flotación RCS – 0016	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
17	Celda de Flotación RCS – 0017	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
18	Celda de Flotación RCS – 0018	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0012	RCS
19	Celda de Flotación RCS – 0019	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS
20	Celda de Flotación RCS – 0020	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS
21	Celda de Flotación RCS – 0021	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS
22	Celda de Flotación RCS – 0022	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS
23	Celda de Flotación RCS – 0023	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS
24	Celda de Flotación RCS – 0024	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0014	RCS

Fuente: TAMCI 2018

Análisis de causas

En el proceso de flotación permanentemente ocurre paradas inesperadas debido a fallas frecuentes de los componentes de los equipos de celda, esto genera que el proceso de desarrollo se interrumpa por varios factores, tanto interno como externos, ya que el área de Flotación se encuentra a la intemperie lo que ocasiona pérdidas en la producción y aumento de jornada laboral de los técnicos en mantenimiento con un retraso e incumplimiento en la entrega de servicio a los clientes. Según Li et al. (2017), mencionaron:

La vida útil de los equipos de celda de flotación es difícil de controlar constantemente en tiempo real puede estimarse sobre la base de sus valores de los parámetros de rendimiento temprano, en lugar de los datos sobre su vida o la degradación del rendimiento. Estos valores de los parámetros se refieren a la información como primer parámetro, que se obtiene antes de un dispositivo electrónico se usa o después de que haya comenzado su funcionamiento por primera vez para un tiempo establecido. (p.2)

Del mismo modo, en el área de flotación los encargados del mantenimiento de los equipos realizan procedimientos según los manuales de los fabricantes para realizar una correcta conservación, pero los trabajadores están a la mira que se puede efectuar mejoras para el aumento de la disponibilidad de los equipos del área de flotación, así mismo se quiere ejecutar evaluaciones de algunos parámetros con sus indicadores con la finalidad de medir la efectividad de los equipos con nuevas técnicas o estrategias.

También, las dificultades de mantenimiento radican en los técnicos mecánicos, porque dejan de lado informaciones precisas acerca de conservar los equipos según el tipo de mantenimiento a emplear, del mismo modo no tienen registros de fallas o fichas de mantenimiento que se realizan a las indicadas máquinas. Así mismo otra causa de las fallas son los desgastes de piezas o componentes de los equipos dejando de funcionar por falta de repuestos originales y al pasar el tiempo se genera las constantes fallas en los equipos. Según Wang y Vachtsevanos (2001) dijeron:

Modos de fallo de la máquina están presentando una carga importante para el operador, la planta, y la empresa haciendo que el tiempo de inactividad significativa, los costes laborales y los ingresos reducidos. Las nuevas tecnologías están surgiendo en los últimos años para controlar el rendimiento de

la máquina, detectar y aislar fallos incipientes y tomar las acciones apropiadas para mitigar este tipo de eventos perjudiciales. (p.1)

Además, las celdas de flotación en las unidades mineras es una actividad de suma importancia, ya que se encuentra en diversas aplicaciones garantizando la operación de la planta. De acuerdo, Farina (2016) indica:

Dentro de cualquier planta o fábrica, podemos encontrar, al menos un motor eléctrico. Gracias a su tamaño, versatilidad, rendimiento y facilidad de uso, estos equipos rotativos se han hecho parte fundamental de ventiladores, bombas y diversas maquinarias industriales. Por esta razón, una falla en un motor puede llegar a detener la producción. Teniendo en cuenta su rol, en ocasiones crítico dentro de la industria, es recomendable implementar un plan de mantenimiento que evite problemas en su funcionamiento (p. 1)

Según los datos adquiridos, se convocó a la gerencia de la empresa para evaluar las causas del problema que se tiene, se determinó utilizar el juicio de expertos para buscar las principales causas. Para ello se elaboró una lista de posibles causas que generarían el problema que se tiene. A continuación, se muestra una tabla con las causas.

Tabla 2. Causas del problema de los equipos de flotación

ÍTEM	CAUSAS
C1	Adquisición de Repuestos
C2	Repuestos Alternativos
C3	Adquisición de Insumos
C4	Daño causado por Instalación
C5	Ajuste incorrecto
C6	Falta de Capacitación
C7	Falta de técnica de Medición
C8	Falta de controles
C9	Falta de Instrumentos de Medición
C10	Métodos de Trabajo no Estandarizados
C11	Falta de Mantenimiento Predictivo
C12	Inspecciones Periódicas Inadecuadas
C13	Daños en el impulsor
C14	Desalineamiento de Eje
C15	Recalentamiento de Motores
C16	Rodamiento Dañado
C17	Falta de Orden y Limpieza
C18	Área de Trabajo sin cobertura
C19	Corrosión

Fuente: TAMCI 2018

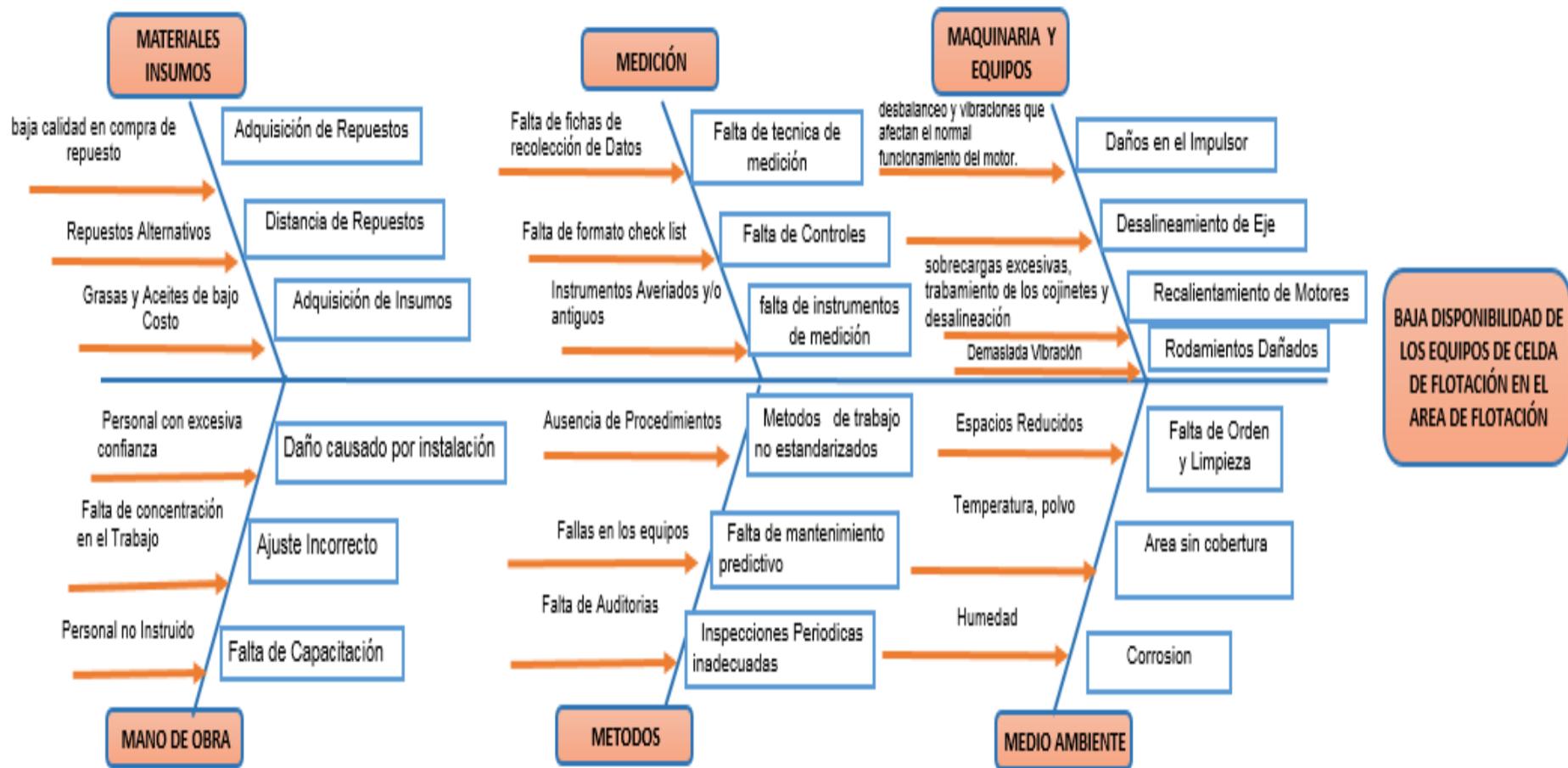


Figura 1. Diagrama de causa – efecto de baja disponibilidad de equipos en el área de celda de flotación, en una compañía minera.

Esta técnica, identifica un problema valiéndose de un diagrama muy similar al esqueleto de un pescado, en el cual la cabeza representa el problema o el efecto, y la columna vertebral junto a sus espinas constituyen las causas, y estos se subdividen en 6 M de la calidad: Según Ben Said et al. (2016) manifiesta:

Un buen diagrama de pescado incluye la mayor parte de las causas y derivadas que pueden ser vitales en la generación del dicho problema. Al tener el diagrama lo más completo posible, se analiza de manera crítica ante un grupo de personas que estén conscientes del problema, para así poder debatir y determinar la causa raíz. (p.78)

Así mismo, se realiza el análisis a través del Diagrama Ishikawa, que indica una gran cantidad de problemas en los equipos de flotación que nos lleva a Pronosticar las fallas de este componente, saber cuándo va fallar los equipos para efectuar un esquema de mantenimiento.

En la celda de flotación se encuentra los equipos críticos, para ello se analiza las 6 M's; Como primer punto se menciona materiales e insumos, existe baja calidad en compra de repuesto, ya que en la adquisición de repuesto es un problema, además los repuestos no son originales son repuestos alternativos lo que genera un mal mantenimiento y los insumos la grasa aceites son de bajos costos.

Como siguiente punto se adquiere la medición, ya que no poseen fichas de recolección de Datos, lo que genera falta de controles y los instrumentos de medición están averiados y otros son antiguos. Como tercer punto se identifica Maquinaria y equipos, que presentan fallas constantes generando pérdidas de producción y baja disponibilidad de estos mismos, ya sea por mal mantenimiento, a su vez los equipos de ayuda que se tiene en el área no son de apoyo para el trabajo a realizar.

Como cuarto punto se presenta la mano de obra, se puede observar que en este punto el personal de trabajo infringe en el exceso de confianza y desconcentración generando ajustes incorrectos lo cual provoca daños en la instalación, el siguiente punto se analiza el método, en este punto se aprecia la ausencia de procedimientos no estandarizados y la falta de mantenimiento predictivo. Para finalizar tenemos medio ambiente, aquí se puede observar que los equipos de flotación se encuentran en un ambiente sin techo, es decir a la intemperie lo cual provoca corrosión en las tuberías y componentes.

Después de haber realizado el análisis en el diagrama Ishikawa se puede observar las mayores causales que están generando las fallas en los equipos de flotación, a partir de ello se efectuó un diagrama de Pareto lo cual se analizara a profundidad en base a la matriz relacional indicada en la tabla N°3.

Se clasificará el valor de evaluación para la matriz:

- 0: Sin Relación
- 1: Relación de causalidad muy débil
- 3: Relación de causalidad media
- 5: Relación de causalidad fuerte

Tabla 3. Matriz relacional de las causas encontradas

DESCRIPCIÓN	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	PJ.	%	
ADQUISICIÓN DE REPUESTOS	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1%
REPUESTOS ALTERNATIVOS	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1%
ADQUISICIÓN DE INSUMOS	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1%	
DAÑO CAUSADO POR INSTALACIÓN	4	1	1	1	3	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	12	9%	
AJUSTE INCORRECTO	5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1%	
FALTA DE CAPACITACIÓN	6	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	3	3	3	1	1	0	0	0	17	12%	
FALTA DE TECNICA DE MEDICIÓN	7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2%	
FALTA DE CONTROLES	8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3	2%	
FALTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	9	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1%	
METODOS DE TRABAJO NO ESTANDARIZADOS	10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2%	
FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	11	3	0	1	1	3	1	1	0	1	0	1	0	3	1	1	0	1	0	18	13%		
INSPECCIONES PERIODICAS INADECUADAS	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1%	
DAÑOS EN EL IMPULSOR	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1%	
DESALINEAMIENTO DE EJE	14	0	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	0	1	1	1	1	0	0	17	12%		
FALLA DE MOTORES	15	1	3	1	1	1	3	1	0	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	25	18%	
EXCESIVA VIBRACION	16	1	3	1	1	1	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	23	17%		
FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1%	
AREA DE TRABAJO SIN COBERTURA	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1%	
CORROSION	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1%		
TOTAL																					139	100%	

Tabla 4. Número de ocurrencias de las causas encontradas

N°	CAUSAS QUE GENERAN FALLAS EN LA CELDA DE FLOTACIÓN	Frecuencia Relativa	Frecuencia	% Total Acumulado
15	FALLA DE MOTORES	25	18%	18%
16	EXCESIVA VIBRACION	23	17%	35%
11	FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	18	13%	47%
14	DESALINEAMIENTO DE EJE	17	12%	60%
6	FALTA DE CAPACITACIÓN	17	12%	72%
4	DAÑO CAUSADO POR INSTALACIÓN	12	9%	81%
7	FALTA DE TECNICA DE MEDICIÓN	3	2%	83%
8	FALTA DE CONTROLES	3	2%	85%
10	METODOS DE TRABAJO NO ESTANDARIZADOS	3	2%	87%
2	REPUESTOS ALTERNATIVOS	2	1%	88%
3	ADQUISICIÓN DE INSUMOS	2	1%	90%
5	AJUSTE INCORRECTO	2	1%	91%
9	FALTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	2	1%	93%
12	INSPECCIONES PERIODICAS INADECUADAS	2	1%	94%
13	DAÑOS EN EL IMPULSOR	2	1%	96%
17	FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	2	1%	97%
19	CORROSION	2	1%	99%
1	ADQUISICIÓN DE REPUESTOS	1	1%	99%
18	AREA DE TRABAJO SIN COBERTURA	1	1%	100%
TOTAL		139	100%	

Después de analizar la Tabla N°4, donde se encuentra la suma de ocurrencias y problemas que se encuentra en el mantenimiento de equipo de flotación, se observa que las principales causas son fallas de motor (18%), seguido por excesiva vibración (17%) así mismo, Falta de Mantenimiento Predictivo (13%), Desalineamiento del eje (12%) y falta de capacitación (12%) y las demás causas de fallas representadas en un porcentaje mínimo

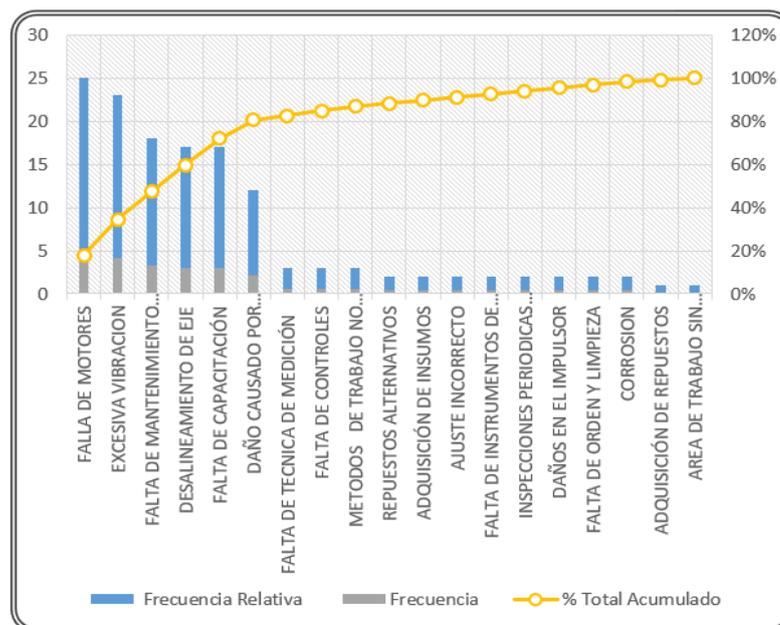


Figura 2. Diagrama de Pareto 80 -20

De todas las fallas que afectan a los equipos de flotación, las más frecuentes son las producidas por el sistema de transmisión (motor) como consecuencia del permanente movimiento y variados estados de carga a los que están sometidos estos componentes. Debido a los imperiosos requerimientos de la industria, en los últimos tiempos se ha incrementado la búsqueda de técnicas que permitan diagnosticar las fallas en estos equipos.

Además, la cantidad de fallas más propenso en los motores de los equipos de flotación se presentan por averías en los rodamientos, por esta razón las empresas elaboran inversiones numerosas en equipos de diagnósticos y capacitación de personal de mantenimiento para identificar dichas fallas para prevenir paradas de emergencia que perjudiquen la producción. Según López (2016) manifestó:

Es por ello que los rodamientos tienen un alto porcentaje de fallas en comparación a otros componentes, de acuerdo a estudios realizados, los rodamientos causan entre un 40% y 50% de fallas en las máquinas. Por tanto, conduce al fracaso de las máquinas y por ende la generación de pérdida en la productividad, por consiguiente, es de gran relevancia tener en cuenta la detección de fallos como una parte integral de los procedimientos de mantenimientos predictivos. (p. 12)

La aparición de fallas en los motores (sistema de transmisión) ha llevado a los especialistas a realizar numerosas investigaciones, de las cuales han surgido gran cantidad de métodos de detección predictiva de fallas incipientes, sin embargo, sólo uno de ellos ha encontrado gran implementación, al menos en el ámbito industrial en el que se requieren métodos de costos reducidos y de resultados satisfactorios.

Estos métodos permitirán saber cuáles son los índices de fallas que se han presentado con mayor frecuencia en cada motor. Según Chen et al. (2017), determina:

El método de predicción basada en los datos tiene una amplia gama y bajo costo. El método práctico y se ha convertido en el foco de la investigación y la tendencia de desarrollo en el campo del diagnóstico de fallos y la predicción. (p1)

Asimismo, se realizó un diagrama de estratificación con la información recabada de la matriz relacional donde se agrupa según el grado de origen luego enfocarse en los problemas más críticos.

Tabla 5. Estratificación de causas por tareas

CAUSAS QUE GENERAN BAJA DISPONIBILIDAD	Frecuencia Relativa	TIPO	Frecuencia
FALTA DE CONTROLES	3	CALIDAD	2%
FALTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	2	GESTION	1%
ADQUISICIÓN DE REPUESTOS	1	GESTION	1%
REPUESTOS ALTERNATIVOS	2	GESTION	1%
ADQUISICIÓN DE INSUMOS	2	GESTION	1%
FALTA DE CAPACITACIÓN	17	MANTENIMIENTO	12%
FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	18	MANTENIMIENTO	13%
DESALINEAMIENTO DE EJE	17	MANTENIMIENTO	12%
FALLA DE MOTORES	25	MANTENIMIENTO	18%
EXCESIVA VIBRACION	23	MANTENIMIENTO	17%
DAÑO CAUSADO POR INSTALACIÓN	12	PROCESO	9%
AJUSTE INCORRECTO	2	PROCESO	1%
FALTA DE TECNICA DE MEDICIÓN	3	PROCESO	2%
METODOS DE TRABAJO NO ESTANDARIZADOS	3	PROCESO	2%
INSPECCIONES PERIODICAS INADECUADAS	2	PROCESO	1%
DAÑOS EN EL IMPULSOR	2	PROCESO	1%
FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	2	PROCESO	1%
AREA DE TRABAJO SIN COBERTURA	1	PROCESO	1%
CORROSION	2	PROCESO	1%
TOTAL	139		100%

Tabla 6. Estratificación

ESTRATIFICACIÓN	
TIPO	FRECUENCIA
MANTENIMIENTO	100
PROCESO	29
GESTIÓN	7
CALIDAD	3
TOTAL	139

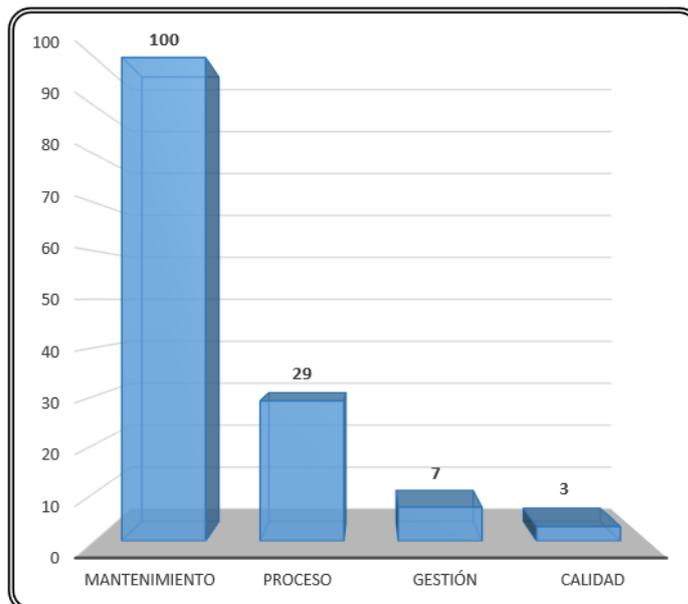


Figura 3. Diagrama de estratificación

Por medio de la estratificación enunciada en el diagrama anterior se observa que, en el área de Mantenimiento existen las causas principales de los problemas de reparación de los equipos de Celda de Flotación, lo cual se debe considerar con más énfasis a la vez, enfocarse para disminuir estos problemas en dicha área que presta servicios la empresa TAMCI SRL, así mismo en el diagrama de estratificación se analiza un total de 100 frecuencias relativas pertenecientes al área de MANTENIMIENTO, en el caso del área de proceso nos indica la suma de 29, seguido por el área de Gestión que llega a 7 de frecuencia relativa y por último el área de Calidad con una frecuencia relativa mínima total de 3.

Tabla 7. Solución en base a alternativas

ALTERNATIVAS	CRITERIOS				TOTAL
	SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA	COSTOS DE APLICACIÓN	FACILIDAD DE APLICACION	TIEMPO DE APLICACIÓN	
TPM	2	0	0	0	2
KAIZEN	2	0	1	0	3
MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES	2	2	2	2	8

No bueno(0) - Bueno(1) - Muy Bueno(2)

**Criterios aprobados por el departamento de Calidad de TAMCI SRL

Como se puede visualizar la tabla N° 7 se observa algunas alternativas de solución, buscando el que más se adapte a los problemas encontrados en el análisis realizado en el inicio de este proyecto, para ello se realizó tres alternativas: TPM (Mantenimiento Productivo Total), Kaizen (Mejora Continua) y MBC (Mantenimiento Basado en Condiciones), en el TPM muestra un puntaje de 2, lo cual no es oportuno; los costos, facilidad y tiempo no se ajustan a lo que se necesita, se analizó el Kaizen pero se obtuvo un puntaje de 3, en este caso se ajusta a la solución y algo en facilidad, pero no ayuda efectivamente a predecir las fallas que se quiere mejorar, pero el MBC arroja un puntaje de 8, esto indica que la empresa considera que es el más conveniente y a su vez es factible aplicar un Mantenimiento Basado en Condiciones para poder resolver el problema en lo que se refiere a mejora de fallas que se tiene en el área de celda de Flotación.

1.2 Trabajos previos

En el presente trabajo de investigación, se evaluó una búsqueda de trabajos anteriores, una selección de información previa con diferentes puntos de vista. El propósito es ampliar los conocimientos relacionados con la metodología de Mantenimiento Basado en Condiciones. A continuación, se presentan las siguientes investigaciones:

1.2.1 Antecedentes internacionales

Fernández (2019) En su tesis “Elaborar un Plan de Mantenimiento Basado en la Disponibilidad de los diversos Equipos que conforman el Área de Molienda en Bocamina”. Este estudio busca utilizar una metodología definida utilizando desde el principio un orden jerárquico, seguido por el análisis de criticidad para definir el tipo de mantenimiento que se va realizar para todos los equipos de la planta. La necesidad de Enel Chile Central Bocamina de ejecutar un plan de mantenimiento, que certifique la disponibilidad de los diversos equipos a trabajar en el área de molienda de carbón, la cual alimentara a Bocamina II, con carbón mineral para el proceso de generación de energía eléctrica.

El problema es que no realizan actividades periódicas de mantenimiento básico e inspecciones a los diferentes equipos activos del área de molienda de Carbón, esto genero las diversas fallas severas provocando perdida en su función principal, a su vez una alta probabilidad de parar el proceso de alimentación de carbón mineral hacia la caldera de Bocamina II. Así mismo, el objetivo del estudio de investigación es elaborar un plan de mantenimiento basado en la disponibilidad de los diversos equipos que conforma el área de molienda de Carbón.

Para la elaboración de esta metodología, se identifica los procesos, subprocesos, equipos y componentes que conforman esta área, describiendo el proceso de producción con ayuda de planos, información relevante de los equipos y componentes para identificar los equipos críticos, democráticos y no crítico esto permite planificar un tipo de mantenimiento, la población es la cantidad de equipos a evaluar y la muestra son los equipos críticos por un tiempo determinado, para usar el correcto instrumentos de medición.

Por último, el autor llega a la conclusión que aplicando la metodología asegura la menor cantidad de fallas correctivas a los equipos. El árbol jerárquico basado en la Norma internacional ISO – 14224:2006, fue la base de este seminario, ya que permitió

manejar una gran cantidad de información llegando a la conclusión, la gran diferencia porcentual que existe entre aplicar técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y de monitoreo de condición (109 actividades equivalentes al 23,52%), frente al mantenimiento preventivo (73.52% restante), refleja la proactividad que se deseaba obtener en los resultados de este plan.

Ayala (2018) En su tesis “Aplicación del Sistema de Mantenimiento Basado en Condiciones (CBM), para Vehículos y Maquinaria Pesada del Área Automotriz del Gad Municipal de Tulcán.”, en el proyecto aplicado se estudia el funcionamiento del Mantenimiento Basado en Condiciones (CBM), como opera dicho sistema y que efecto causa la aplicación dentro de la Organización. Los diferentes sistemas aplicables pueden ser de manera preventiva o correctiva.

Todo ello mediante el uso del software MP9, el cual calculará: organización, planificación y ejecución de las ordenes programadas en tiempos y fechas establecidas, usa los registros en cuanto a los requerimientos de cada vehículo y máquina en funcionamiento, además permite cotejar la búsqueda del número de mantenimientos correctivos según a la base de datos de cada vehículo y máquina , estos factores de trabajo son llevados a cabo con información que demuestra la interacción de unidades y comunica alarmas de mantenimiento por llevarse a cabo o si estas se encuentran dentro de los plazos establecidos según lo dispuesto.

El presente trabajo tiene por función calcular y analizar la reducción de costos de mantenimiento mediante la ejecución del sistema CBM y la programación del software a máquinas y vehículos en un periodo de un semestre de actividad, finalmente se reconoce el grado de importancia y beneficio para la Jefatura de talleres, del mismo modo garantiza la disminución de costos y aclara la efectividad del sistema de mantenimiento (CBM) conjuntamente señala los beneficios que brinda el Software MP9.

Moreno (2016) “Implantación de un Sistema de Mantenimiento Predictivo Basado en Condición en una Plataforma Naval” de la Universidad Politécnica de Cartagena Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales, con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Industrial. En esta investigación se aplicó la metodología de un mantenimiento predictivo para lograr una mejora en la disponibilidad de sus equipos, que permita una evaluación exterior de los equipos sin necesidad de desmontarlo.

El problema es la baja disponibilidad de sus máquinas en la plataforma Naval, el objetivo de esta tesis es establecer los equipos posibles donde sea justificable un MBC que reconozca una evaluación externa de las condiciones que presentan las maquinas, sin afectar el funcionamiento normal y sin realizar desmontajes previos para retardar el tiempo de las intervenciones, reducir el costo de mantenimiento y mejorar la disponibilidad de los equipos sin degradar la seguridad del Submarino.

Para esta implementación se realizó un estudio de criticidad basado en parámetros CR1, CR2, y CR3, donde el primero se refiere a la indisponibilidad, el segundo describe a los efectos de la seguridad y por último los costos de los activos. Esto se evaluará con respecto a cada uno de los criterios según rangos establecidos para evaluar y mejorar la disponibilidad de los equipos con mayores fallas. La población es la cantidad de maquinarias a evaluar y su muestra será las maquinas críticas o con mayores fallas.

Para concluir, el mantenimiento basado en condiciones On/Off-Line, brinda elementos responsables de mantenimiento del submarino auxiliado por el Organismo en Tierra que disponga cuando es necesario hacer un tipo de mantenimiento y tomar las mejores acciones para las maquinas sin que llegue a las averías con esto contribuye el cumplimiento de la disponibilidad del submarino y reducirá los costos de mantenimiento.

Verdezoto (2015) en su Tesis “Propuesta de Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo, Basado en la Criticidad de los Equipos del Proceso de Laminación en Caliente para la Empresa Andec S.A.”, de la Universidad de Guayaquil. En su Tesis, desarrolló una propuesta de implementación de un plan de mantenimiento predictivo en el proceso de laminación de la empresa ANDEC S.A.

El problema fue, al existir únicamente el mantenimiento preventivo, este establecía los intervalos de mantenimiento por estimaciones tentativas o datos señalados por el proveedor de los equipos y no se conocía el alcance real del deterioro de la maquinas.

El objetivo de mejorar el desempeño (la confiabilidad y la disponibilidad) de los equipos del proceso. El desarrollo se fundamentó en los conceptos del mantenimiento predictivo o basado en condiciones, en el cual se describe las distintas técnicas predictivas para detección temprana de fallas, misma que ayudara en el entendimiento y

desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo que controla principalmente los parámetros físicos medibles de los equipos, máquinas y sistemas.

Los resultados obtenidos del análisis de fallas, mostraron que el 73% de las fallas operativas mecánicas pudieron ser evitadas aplicando un correcto plan de mantenimiento, lo que representaría un ahorro anual en el costo de mantenimiento aproximadamente de 92 mil dólares, además de aumentar la disponibilidad de los equipos y se podría aprovechar para aumentar la producción a un estimado de 5.000 toneladas anuales. Se concluyó que la propuesta era factible, demostrada de manera técnica y económica.

Mundarain (2009) en su Tesis “Diseño de un Programa de Mantenimiento Basado en Condición, enfocado a la Mejora de la Efectividad de los Activos Rotativos”, de la Universidad de Oriente. En su Tesis, desarrollo un diseño de un programa de mantenimiento basado en condición enfocado a mejorar la efectividad de los activos rotativos críticos de la planta Supermetanol C.A.

El problema fue, en la situación actual de la Empresa, existía un Mantenimiento Preventivo, este tipo de mantenimiento basado en horas de operación, estas eran costosas a largo plazo para la industria, no era capaz de disminuir las paradas no programadas, trayendo como consecuencia una reducción en las horas efectivas de la planta y, por ende, los niveles de producción se habían visto severamente comprometidos.

El objetivo fue implementar un Programa de Mantenimiento Basado en Condición (PMBC), enfocado a elevar la confiabilidad de los activos industriales, mejorar las labores de mantenimiento y generar mejores prácticas aplicadas a las operaciones y mantenimiento de la maquinaria, con el objeto de incrementar la efectividad de los equipos.

Este análisis sirvió de base para seleccionar las herramientas predictivas, y a partir de ellas se determinaron los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como puntos de medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividades. Una vez diseñado todo el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente.

Finalmente, con la implementación del programa de mantenimiento basado en condición diseñado, se logró detectar un significativo número de problemas en los activos en estudio, que, de no ser captados y corregidos a tiempo, estos problemas pueden originar la ocurrencia de los modos fallas. Además, se observó un incremento del porcentaje de activos, en condiciones anormales, a lo largo del tiempo de estudio, causado, en gran medida, por la no programación y ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes generados, posterior a cada inspección.

Toapanta (2009) “Implementación de un Análisis de Mantenimiento Basado en Condición de los Compresores Reciprocantes y de Tornillo”, tesis de grado para optar el título de Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba Ecuador, en esta tesis se implementó esta metodología en los equipos de la empresa petrolera REPSOL, lo cual necesita un adecuado mantenimiento y control al continuo funcionamiento que tiene el proceso.

La dificultad de REPSOL es la baja confiabilidad y disponibilidad de sus equipos por las constantes fallas que presentan en el proceso de producción de las fábricas, por esta razón se implementa una metodología con técnicas de mantenimiento predictivo para analizar y monitorear las frecuencias de las fallas y determinar que técnica de mantenimiento basado en condiciones se utilizara según su condición de funcionamiento.

Además, para implementar el mantenimiento Basado en Condiciones realizaron un esquema de sistema real, seguido por un sistema de monitoreo con acceso a bases de datos, y según esos datos realizar un análisis de nivel de criticidad alta media y baja según los resultados se debe realizar el orden de trabajo con acciones del mantenimiento predictivo como monitorear, diagnosticar y pronosticar las diferentes fallas (potenciales y funcionales) de los equipos en dicha empresa.

Como resultado se efectuó el objetivo de MBC logrando establecer el desempeño de los compresores durante el monitoreo, previniendo los diferentes daños severos y hasta muchas veces fatales, es decir transformar los mantenimientos correctivos en mantenimientos planificados, y de ese modo reducir los costos realizados por reparación, repuestos y producción. Así mismo, se extiende el tiempo en que se realizan los cambios de aceite de 2000 horas a 2500 horas.

1.2.2 Antecedentes nacionales

Mayorca (2019), presento la tesis “Propuesta de Mejora de la Disponibilidad de Maquinaria Pesada en una Pyme utilizando el RCM”, para obtener el grado de Ingeniería Industrial, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – UPC Lima. La propuesta de esta investigación representa a un análisis de aplicación de un sistema de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, aplicada en una empresa de servicios de alquiler de maquinaria pesada para el sector minero trazando una hipótesis de mejorar una gestión de mantenimiento para reducir las fallas y desgastes de los equipos disminuyendo los repuestos inadecuados.

El objetivo principal de esta tesis es incrementar la disponibilidad de los cuatro tipos de maquinarias mineras de la empresa, basándose en disminuir y eliminar el sistema del motor hidráulico y de transmisión, Por otra parte la problemática con el cliente por reportes de equipos no operativos presentan indicadores de mantenimiento en un nivel de 45% de baja utilización de las maquinarias ya que, de acuerdo al benchmark de empresa es una competencia de un nivel de 90% de operatividad y disponibilidad mejorando el rendimiento de los equipos mineros.

La metodología a usar es el análisis de modo y efectos de fallas (AMEF), es una técnica sistemática que sirve para evaluar todo tipo de falla y cuáles son las causas potenciales que las originan, a su vez se les asignan una calificación numérica para el tipo de ocurrencias con respecto al estado crítico y la probabilidad de diagnosticar las fallas, el resultado se multiplica para obtener el número de prioridad de riesgo (NPR), esta respuesta se usa para identificar el estado más críticos de las maquinas, minimizando los niveles de severidad, ocurrencia y detección .

Para concluir, la filosofía RCM utiliza herramientas de diferentes tipos de mantenimiento como preventivo y predictivo monitoreando sus indicadores en tiempo real con respecto al promedio de tiempo entre fallas aumentando la vida útil de los equipos, Además se usó técnicas de registro de recolección de datos evaluando las posibles fallas que desgastan a los equipos y mejorando la disponibilidad a un 87%, reduciendo el costo de mantenimiento llegando a ascender a 70,416 dólares por año.

Ibérico y Figueroa (2019) quienes presentaron la tesis “Diagnóstico de Fallas, por Mantenimiento Predictivo, para Optimizar el Servicio Post Venta de Maquinaria Pesada Volvo, en una Empresa Concesionaria Automotriz”, realizado en la Facultad de

Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica en la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo Perú, que tiene como finalidad optimizar el servicio de post venta de maquinarias con la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo que se basa en el tiempo total de operación, minimizando las diferentes fallas y hacer un respectivo diagnóstico para una mejora continua.

En esta investigación se trabaja con una población de tres maquinarias que realizan trabajos más relevantes para la empresa y su muestra es una de cada máquina trabajando con el indicador de criticidad, la problemática principalmente es las constantes fallas en las maquinarias pesadas de volvo esto disminuye los promedios de trabajos de estos equipos generando desgastes prematuros en los componentes hidráulicos especialmente es las bombas. El objetivo de esta tesis es diagnosticar las fallas por mantenimiento preventivo con un mantenimiento predictivo así optimizar los servicios de post venta de las maquinarias pesadas.

La metodología Mantenimiento basado en Condiciones o conocido como mantenimiento predictivo usa diferentes herramientas para mejorar la confiabilidad elaborando un plan usando diferentes técnicas analizando las diferentes fallas en las instalaciones obteniendo conclusiones para mejorarlas y si es necesario mejorarlas desde la causa raíz del problema, según la norma SAE JA 1011 constituyen una metodología básica para su implementación. Además, el diseño de investigación es pre experimental con una clasificación longitudinal, ya que se manipula las variables independientes con una técnica de recolección de datos.

En conclusión, los resultados de la investigación según el mantenimiento aplicado que se basó en condiciones predictivas analizando las fallas para diagnosticarlas y optimizar la disponibilidad de los equipos, con estas pruebas predictivas se logró un 30% de mejora en la disponibilidad de equipos de (58% a 89%) con este resultado se demuestra y se llega a la conclusión que hay mejoras en el área de mantenimiento optimizando la productividad de los equipos satisfaciendo las necesidades de sus clientes.

Pasache (2017) desarrollo la tesis “Plan de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones para Mejorar la Confiabilidad de los Equipos Rotativos del Área de Galvanizado en una Empresa Metalmecánica”, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Cesar Vallejo- Lima, la reciente

tesis desarrolla una metodología de mantenimiento predictivo por análisis de vibración en los equipos rotativos para mejorar la confiabilidad de sus equipos en una empresa galvanizada de metalmecánica.

El diseño de investigación es de tipo cuantitativa y cuasi experimental aplicada con el propósito de constituir la influencia de sus variables, el objetivo principal de esta investigación es determinar la implementación de un plan de mantenimiento predictivo por el análisis de vibración con la finalidad de mejorar equipos rotativos, la problemática es las constantes fallas semanales que obligan a para el proceso productivo al momento de cambiar repuesto sin control encontrando fallas en los rodamientos por las excesivas vibraciones y solturas de pernos.

Implementación del Mantenimiento Predictivo este método diagnostica las fallas permanentes de los equipos según sus características diferentes se realizan estudios teniendo en cuenta las condiciones, evaluando las necesidades del sistema tanto económico como estratégico teniendo en cuenta que afecta la capacidad del sistema en la cantidad de paradas y maquinas críticas, reordenando la estructura del departamento de mantenimiento para esto, es necesario contar con un personal altamente capacitado para que puedan implementar estos equipos.

Como resultado se obtuvo una mejora en el análisis de vibración mejorando la disponibilidad del equipo según los datos obtenidos aumento la confiabilidad en un 5% ya que al inicio estaba en un 92% pasando a un 97%, Además la disponibilidad de los equipos alcanzo una mejora del 91% al 98% aumentado en un 7% mejorando los tiempos de medio entre fallas y los tiempos medios de reparación obteniendo una mejora de 20 %.

Collantes (2017) “Propuesta de Implementación del Mantenimiento Preventivo en las Celdas de Flotación Kyf-300 para Mejorar la Productividad en Planta de Cobre - Chinalco- Perú” Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial en la universidad Privada del Norte sede Trujillo, esta investigación propone implementar un plan de mantenimiento preventivo en el área de flotación ubicado en una planta concentradora de cobre Chinalco.

El objetivo de esta tesis es diagnosticar la situación actual de los equipos del área de flotación con respecto al mantenimiento preventivo, determinar las causas que originan las averías y las diferentes paradas de las máquinas de la celda KYF 300,

diseñar un plan de mantenimiento para evaluar económica y financieramente con un proyecto factible. El tipo de investigación es descriptiva con una población de una máquina y cuatro operadores tomando como muestra el total de la población.

Así mismo, se utilizó instrumentos de fichas de registros y cuestionarios, las técnicas de recolección de datos también fueron primordiales, el objetivo se logró previniendo las diferentes fallas con el plan de mantenimiento preventivo, optimizando el desempeño operativo, ya que funcionaban de una manera defectuosa debido a las constantes fallas con paradas no programadas por qué no realizaban ningún tipo de mantenimiento.

Entre las principales conclusiones, se determinó las causas que originaban las diferentes fallas de las paradas imprevistas de las máquinas de celda de flotación con estos resultados se evaluara que tipo de mantenimiento se va utilizar. Del mismo modo el ahorro que se obtiene a implementar un plan de mantenimiento preventivo es de S/. 2,9427 lo que nos genera un VAN de S/.6,023.78 y un TIR 13% lo que nos da un retorno de la inversión en 5 años.

Aquino (2017) “Plan de Mantenimiento Basado en la Condición para mejorar la Disponibilidad del Molino SAG en la Compañía Minera Chinalco Perú” para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Centro Del Perú Huancayo, esta tesis fundamenta en aplicar un MBC como metodología para pronosticar las diversas fallas en los equipos y mejorar la disponibilidad de los molinos SAG en la compañía Minera Chinalco.

Así mismo tuvo como objetivo principal elaborar una metodología con controles a los equipos e inspecciones técnicas, status de equipos realizando un registro de paradas de todos los sistemas para mejorar la disponibilidad hallando un porcentaje bajo de 88% en el año 2014, considerado muy bajo según las exigencias de las mineras identificando los tipos de fallas funcionales los modos de fallas para que se realice el cuadro de criticidad que fue base del estudio de investigación.

Además, el uso de la herramienta del AMEF para el estudio se utilizó para diagnosticar el modo de falla efecto y criticidad analizando la causa raíz del problema con un programa de monitoreo de condiciones identificando los indicadores de su avería, para luego identificar el tipo de mantenimiento a usar que reconociera y permitiera detectar controlar y eliminar todo tipo de falla. El MBC se realiza diferentes

series o etapas que consta de siete fases desde el codificado y el listado de todos los sistemas hasta la puesta en marcha de las medidas preventivas.

Como resultado, según el mantenimiento basado en condiciones según los años 2014 y 2015 son 0.0586 a 0.0389, resultando en una mayor disponibilidad media de 88% a 92% reduciendo las fallas constantes en el molino consiguiendo al final una mejora en los equipos, se recomienda almacenar la base de datos para la identificación de todos los problemas que se suscitan para analizarlo y buscar una mejora.

Villegas (2016). “Propuesta de Mejora en la Gestión del Área de Mantenimiento, para la Optimización del Desempeño de la Empresa “Manfer S.R.L. Contratistas Generales”, para obtener el título de Ingeniero Industrial en la universidad Católica San Pablo de Arequipa, Se analizó la mejora del área de mantenimiento MANFER SRL posee una flota de 33 equipos de construcción, por ello es importante la disponibilidad de estos equipos que se encuentren en un 90% para ser optimo el desempeño.

El objetivo de esa investigación es generar una propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento que reconozca optimizar el desempeño de la empresa MANFER S.R.L. analizando los pros y contras para mejorar la disponibilidad de los equipos, ya que en la actualidad existe fallas constantes provocando tiempos muertos, paradas de producción y aumentos de costo. Además, consta de una de población del mayor número posibles de personas y el número de muestra es igual al total de la población.

Para aplicar esta mejora de gestión de mantenimiento, se usa una herramienta como el diagrama de Causa Efecto conocido como el Ishikawa para observar el problema que genera y sus efectos, así mismo el según los resultados se analiza su data histórica para observa la disponibilidad que tienen los equipos con una baja de (64.9) % lo cual afecta a la producción y los altos costos de mantenimiento que ascienden a S/. 319,975.80 soles al año aproximadamente.

En conclusión, se muestra una proposición de gestión que permitirá optimizar el desempeño de la constructora mediante el aumento de la disponibilidad de los equipos desde un 68.3% a un 78.5%, lo cual disminuirá los costos de alquiler en S/. 124,877.80 en el periodo de 02 años. Por otro lado, se implementarán procesos de gestión de mantenimiento y procesos de gestión logística que acrecentarán la efectividad de la empresa.

1.2.3 Artículos científicos

Problema de diagnóstico de fallas integrado con la estrategia de mantenimiento basado en la condición

Importante tener en cuenta el tipo de modelo de pronóstico a escoger, ya que ayudan en la toma de decisiones, la investigación de trabajos previos que permiten ampliar el conocimiento. Según Djelloul, Souier y Sari (2015), indicaron:

El artículo considera las etapas del análisis de riesgo de la aparición de peligro en instalaciones eléctricas. Se sugiere que el análisis de riesgos debe ser considerado como un procedimiento para identificar situaciones traumáticas con la definición de su evaluación cuantitativa. Una de las principales tareas del análisis es obtener información sobre el estado de aislamiento de las instalaciones eléctricas para determinar su vida residual y para predecir la vida útil. (p.25)

La Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones son esenciales para soluciones en la detección de falla en las diferentes industrias.

El propósito de la primera etapa es predecir el valor de riesgo general eléctricos teniendo en cuenta los posibles daños de la lesión de cada individuo y comparar la magnitud de riesgo con un valor aceptable. La designación del segundo - el desarrollo de recomendaciones para reducir la probabilidad de choques eléctricos y posibles daños de ellos, dirigido a la consecución de un riesgo aceptable con los costos económicos limitados. (p.27)

Diagnóstico de equipos de rotación utilizando métodos de mantenimiento.

Hoy en día podemos encontrar una gran cantidad de modelos de pronósticos para mejorar las frecuencias de fallas. De acuerdo, Kisic et al. (2015) explicaron:

El presente documento se centrará en el enfoque basado en datos y la aplicación de métodos de mantenimiento. Dado que el mantenimiento basado en la condición está de hecho comprendido de mantenimiento basado en el tiempo y técnicas de monitoreo de condición, la idea era aplicar esta Técnica a través de una estadística. Abordar e identificar el estado actual del sistema de señales observables recogidas mientras el sistema estaba operando. (p.2)

El enfoque propuesto en este documento es nuevo, ya que ofrece compromisos que exceden las soluciones existentes. Se basa en el método impulsado por los datos, ya que no requiere el conocimiento del modelo, mientras que el estado no estacionario del modelo se dirige a través de la introducción MBC. Mediante la definición de diferentes estados, el HMM implica tanto un modelo dinámico y observaciones no estacionarios. (párr. 6)

Por otra parte, las observaciones que entran en el MBC son datos medidos no primas del sistema, pero las estadísticas con parámetros de gráficos de control. En otras palabras, el procedimiento propuesto extrae de las mejores características de los enfoques existentes. (párr. 6)

El plato de molienda del molino de carbón se desgasta con el tiempo y necesita ser reemplazado después de un cierto número de horas de servicio, a través del mantenimiento basado en el tiempo. Dependiendo de la calidad del carbón y de la propia mesa de molienda, a veces el reemplazo debe hacerse antes o después del tiempo especificado, lo que resulta en pérdidas considerables si la totalidad de los subsistemas cerraron a pesar de que la sustitución no era necesario, o si el fallo se produce antes de la sustitución. (párr. 7)

La solución propuesta a este problema se basa en Mantenimiento basado en Condiciones, el pronóstico basado en datos. Este enfoque fue seleccionado porque el modelo basado requiere un modelo preciso del sistema, que es altamente complejo.

1.3 Teorías relacionadas al tema

Equipo de celda de flotación

Para la obtención de mineral, la minería lleva a cabo una serie de procesos y operaciones para extraer y procesar mineral. La presente tesis se orienta al proceso de flotación, concretamente en el área de mantenimiento ubicado en las celdas de flotación. Según Wang, Braaten y Yu (2015), manifestaron que: “El proceso de flotación es responsable por el mineral molido, mezclado con agua, cal y reactivos, que, mediante un sistema de bombeo por tubos, pasa este material a la clasificadora de las celdas de flotación” (p. 37).

La planta generalmente se compone de 24 celdas en circuito Rougher Scavenger, concentrado a granel para luego enviarse por tuberías a la planta de separación.

utilizando componentes de espuma convencional de Cu – Mo. Este proceso en sí se desarrolla, según Chen et al. (2017), nos explican que:

Por medio de un agitador de paletas que revuelve la pulpa, luego una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda, forma burbujas que llevan a la superficie partículas de sulfuros de mineral, formando espuma o nata que rebasa las celdas de flotación, esta es recogida para ser espesada o sedimentada, luego filtrada para la obtención del concentrado final. (p.126)

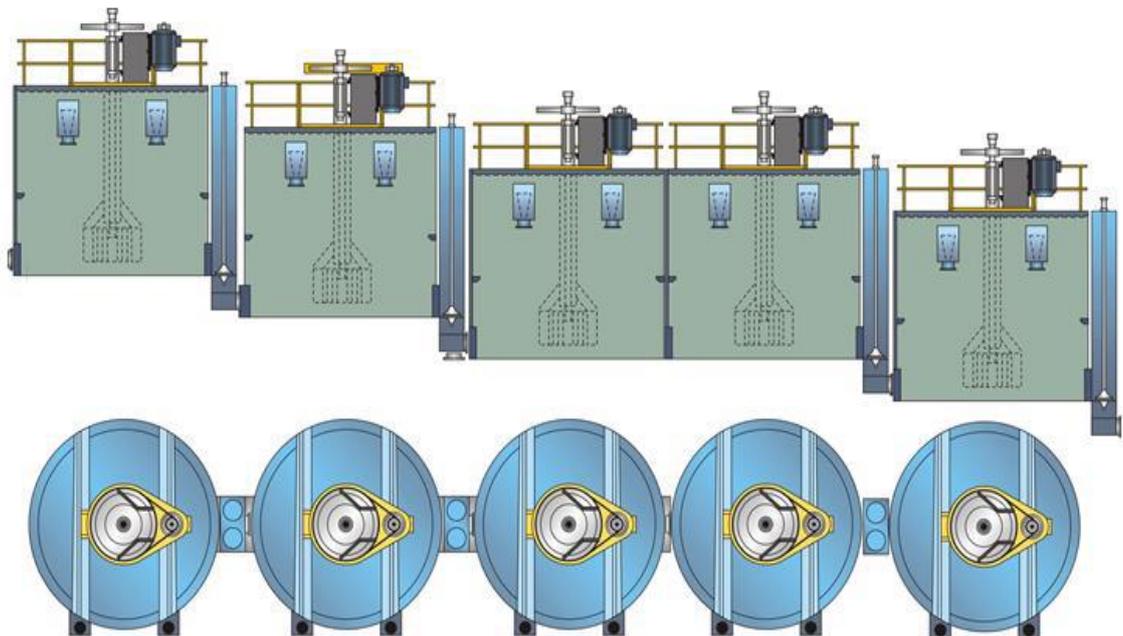


Figura 4. Celda de flotación. Fuente Chen et al. (2017), p.18

Además, los procesos de flotación son importantes para las industrias especialmente en tratamientos de minerales metálicos y no metálicos a su vez estos minerales se están recuperando de manera exitosa en diferentes áreas relacionado como plantas hidrocarburos y otras concentraciones industriales. La celda de flotación tiene diferentes componentes que trabajan de forma simultánea, según Kisic et al. (2015), manifestaron:

Partes de la celda de flotación

- **Superestructura**

Estructura soporte para el mecanismo y el motor.

- **Válvula de dardo**
Tapón de forma cónica, el cual, cuando su posición varia en relación con el asiento de la válvula de dardo, controla el flujo a través de la abertura. La posición puede estar en de cualquier lugar, entre totalmente abierta o totalmente cerrada.
- **Standpipe**
Soporte estacionario para el conjunto del difusor.
- **Difusor**
Dispositivo estacionario del mecanismo de flotación DV, el cual rodea el impulsor rotante. Esto ayuda en la dispersión del aire en la flotación de la pulpa. También llamado como estabilizador o estator.
- **Impulsor**
Dispositivo rotatorio con aspas el cual bombea la pulpa y, al mismo tiempo, revuelve el aire en la pulpa.
- **Labio de Espuma**
Borde sobre el cual la espuma fluye hacia la “Canaleta de Espuma”.
- **Canaletas de Espuma**
Accesorio a través del cual se colecta la espuma la cual es transferida al próximo paso de proceso. En la Celda de Flotación RCS estos accesorios son integrales al tanque.
- **Motor**
Es una máquina que hace funcionar un sistema, transforma energía mecánica en energía eléctrica.
- **Rodamientos**
Son piezas de máquinas que facilite el movimiento giratorio, sirve como apoyo a un eje ayudando a reducir la fricción entre dos elementos móviles.

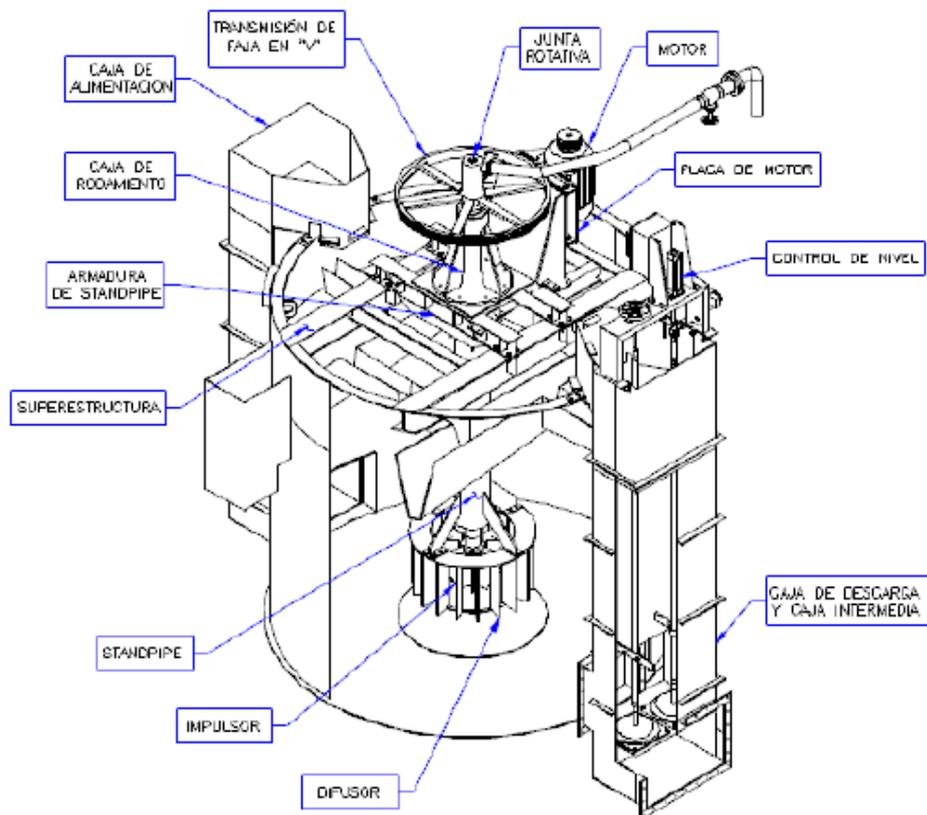


Figura 5. Celda de flotación partes. Fuente manual celda RCS

La máquina de flotación “Celda a Celda” cumple la función de rectificar el mineral y limpieza de concentrados de flotación. Además, su ajuste de flexibilidad permite obtener las condiciones exactas de flotación para un tipo de mineral específico para una transformación económica. De acuerdo Zhang, Kusiak y Ma (2017) Las celdas existentes son de tres tipos:

- **Mecánicas**
Se caracterizan por que tienen un impulsor mecánico que permite agitar la pulpa y la dispersa. Son las más comunes.
- **Neumáticas**
En este tipo se utiliza aire comprimido que sirve para agitar y airear la pulpa. Una de sus características es la carencia del impulsor.
- **Columnas:**
Su característica principal es la generar un flujo de burbujas de aire en contracorriente con la pulpa y de las burbujas mineralizadas con el flujo de agua de lavado.

1.3.1 Tema asociado a la variable independiente

Mantenimiento basado en condiciones

Historia de mantenimiento

La primordial función de mantenimiento es mantener el buen estado, funcionamiento y operatividad de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta condición se puede deducir el avance en el área de mantenimiento. De acuerdo con Mora (2009), enunció:

La historia del mantenimiento conduce el adelanto Técnico Industrial de la humanidad, al término del siglo XIX, con la automatización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones, hasta 1914 el mantenimiento no era prioridad era un tema secundario, ejecutado por el mismo personal de operación y producción. (p.3)

Además, la empresa de autos Ford Motor Company empleo el mantenimiento dentro de su organización, con el paso del tiempo las pequeñas y grandes empresas implementaron esta estrategia de mantenimiento con el propósito de mantener el control y orden de sus equipos que fabricaban.

Acerca de realizar esta nueva técnica de mantenimiento las empresas logran evitar y reducir problemas de funcionamiento o paros inesperados que generen sobrecostos. Por otra parte, Mora (2009), indicó: “En 1950 surge un nuevo concepto de mantenimiento por un grupo de ingenieros japoneses, que estrictamente seguía las recomendaciones de los fabricantes de las maquinas con respecto a los procedimientos de reparación de máquinas industriales” (p.15).

De manera que, el mantenimiento correctivo presenta algunas limitaciones en los componentes mecánicos, dejando de funcionar los equipos, por esta razón resolvieron crear un sistema de mantenimiento preventivo que comenzó con condiciones favorables para la producción y desempeño de las maquinarias, además las asociaciones nacionales decidieron ejecutar un análisis extenso, con instrumentos que genera datos de predicción y prevención de fallas, al obtener esta información se crea el mantenimiento predictivo.

Mantenimiento

El mantenimiento y la reparación son dos puntos importantes a tomar en cuenta dentro de la vida útil de las maquinarias, al aplicarse adecuadamente se logra garantizar la disponibilidad y el funcionamiento de equipos y dispositivos. Según Botero (1991)

citado por García (2012), manifestó “El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas y que éstos continúen en servicio para el cual fueron diseñados” (p.22).

El departamento de mantenimiento desarrolla estrategias, esta situación se ve influenciadas efectivamente en el desarrollo de las reparaciones de las máquinas, evitando averías o fallas imprevistas. Además, Ho y Bae (2015), explicaron “En general, el mantenimiento se define como todas las acciones técnicas y de gestión tomadas durante la temporada de uso para mantener o restablecer la funcionalidad requerida de un producto o un activo” (p.119).

Objetivo del mantenimiento

La función principal del mantenimiento es garantizar que los equipos cumplan su función para lo cual fueron fabricadas por ello se pretende mantener el estado óptimo de la maquinas a través del tiempo. A su vez corrige, previene y verifica el periodo de estos. Por otro lado, De la paz y López (2014), indicaron:

El objetivo del mantenimiento es lograr la reducción de averías imprevistas y tiempo de reparación, procurar la prolongación de la vida útil de los componentes, lograr los efectos del ahorro de recursos y con ello, reducir el costo de mantenimiento de las instalaciones y contribuir a mejorar la calidad de los productos. (p.48)

Acerca de, mejorar las condiciones de seguridad tanto de las maquinas como del personal es significativo el mantenimiento, esto se encarga de minimizar las interrupciones imprevistas reduciendo los costos, aumentando y asegurando la disponibilidad, confiabilidad y vida útil del equipo.

De acuerdo Reportero industrial (2019), enunció “El objetivo más importante del mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año, es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible” (p.1).

Tipos de mantenimiento

Cada sistema de mantenimiento cumple un rol significativo dentro de una empresa, es encargada de crear confiabilidad, durabilidad y desempeño favorable de los equipos a su

vez tiene la finalidad de alargar la vida útil de sus componentes mecánicos. Según García (2012), nos describe los siguientes tipos de mantenimiento:

El mantenimiento rutinario, es una actividad diaria que tiene por objetivo la limpieza, lubricación en los equipos y maquinaria, para preservar el buen estado de los áreas comunes y no comunes de cualquier organización. Esta realización no requiere mucha preparación técnica, en cuanto a controles de niveles de agua, aceite, ruidos y vibraciones. (p. 97)

Mantenimiento correctivo, solo se interviene cuando deja de funcionar la maquina por presentar una falla o desperfecto, esto se encarga de corregir y poner en marcha los equipos los más pronto posible y a un costo reducido, para que adquiera el éxito este programa se deberá estudiar las diferentes alternativas para su reparación y planear el trabajo con el personal y equipos disponibles. (p.94)

El mantenimiento preventivo, se ejecuta, interrumpiendo la máquina, equipo para luego realizar evaluaciones y modificar la programación inicial. Para alargar la vida útil de los equipos y componentes se adquiere información relevante de catálogos y manuales de los diversos fabricantes para realizar mantenimientos básicos, así mismo su historial de las máquinas y los datos específicos son significativos para anticipar la interrupción de las fallas y un procedimiento a seguir. (p. 94)

El mantenimiento predictivo, es aquel que se anticipa a las fallas por medio de un seguimiento, dado que lo que se requiere es adelantarse al comportamiento de una, dos o más variables en la maquinaria o equipos. Este mantenimiento consta de minimizar los tiempos de fallas detectando con el uso de instrumentos de medición para extender el funcionamiento y disponibilidad hasta lograr una inspección programada. (p.94)

Por otra parte, este tipo de mantenimiento requiere una base de datos adquirida para poder determinar o predecir las posibles fallas a un futuro, generando un plan de mantenimiento que será aplicables según el funcionamiento y trabajo de la máquina, a través de este mantenimiento se programa reparaciones que no afecta el proceso de producción y alarga la vida útil del equipo. De la misma forma García (2012), explicó “El Mantenimiento Predictivo, basado en el uso de sistemas de diagnóstico para el análisis de fallas, es la respuesta conveniente en la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas” (p.95).

Estrategia de mantenimiento

Para lograr la estrategia el mantenimiento predictivo es la base principal e integradora para equilibrar las prácticas de mantenimiento predictivo y proactivo. Según Mora (2009) representa un esquema.

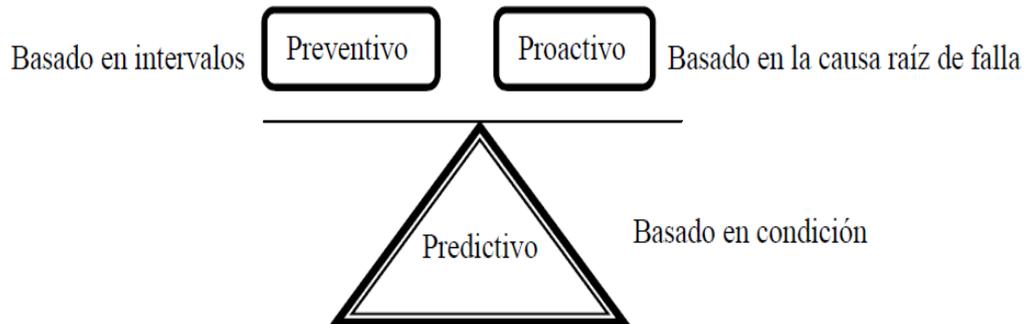


Figura 6. Esquema de estrategia de mantenimiento, por Mora. 2009. p.31

Mantenimiento basado en condiciones

Es el mantenimiento Basado en la medición del estado de un equipo para evaluar su probabilidad de falla durante un periodo futuro, con objeto de tomar la acción más apropiada para prevenir o evitar las consecuencias de esta falla. La condición de un activo físico es medida usando equipos de análisis, técnicas de control estadístico y monitoreo de su operación, mediante hardware y software específico, o a través del uso de los sentidos. García (2012), (p.96)

Esta metodología asegura la fiabilidad del funcionamiento de los equipos previniendo que ocurra fallas o averías por algún desperfecto. Asu vez pronostica en qué momento va a ocurrir la falla. Según Lannoy y Procaccia (2014) dijo Jantunen et al. “Mantenimiento Basado en Condición (CBM) es ampliamente aceptado y usado como una estrategia de mantenimiento económicamente eficaz, capaz de anticipar el fracaso, sin un esfuerzo económico innecesario” (p.2).

Por otra parte, el MBC está compuesto por tres pasos; la adquisición de datos consiste en la obtención de información relevante para determinar la salud del sistema; procesamiento de datos es el análisis y la comprensión de la información obtenida, en el tercer paso, se toma una decisión de mantenimiento, Además el MBC se clasifican en:

basados en modelos, basados en conocimiento y basados en señales (Barraza, 2014, p. 2).

Del mismo modo, las decisiones de mantenimiento están incluidos en dos categorías principales de técnicas: el diagnóstico y el pronóstico, Según Barraza (2014) manifestó:

El diagnóstico incluye todas las técnicas desarrolladas para determinar si hay algún problema con el equipo, cuyo componente es defectuoso y determina la naturaleza de tales fallas, el pronóstico por otro lado, cubre la predicción de fallas y la estimación de tiempo que queda antes de que ocurra una falla de funcionamiento. (p.2)

La estrategia basada en condición se caracteriza por la utilización de información de los equipos tales como: el resultado de inspecciones, resultados históricos de pruebas, diagnósticos de fallas, información del comportamiento de los equipos ante eventos del sistema, datos de diseño y funcionamiento nominal (Martínez, 2014, p. 23)

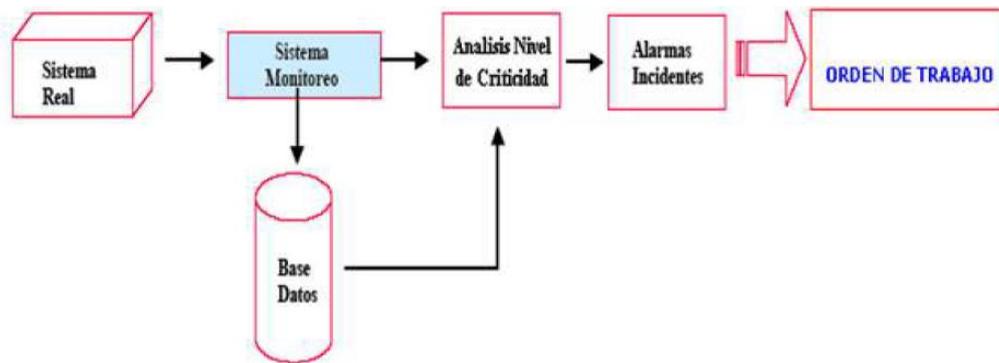


Figura 7. Esquema del funcionamiento del MBC, por Mora. 2009. p.334

Objetivo de mantenimiento basado en condiciones

Para realizar una planificación y programación de mantenimiento se utilizan distintas tecnologías predictivas que pronostican o adelantan las condiciones de fallas, esto supone una ventaja para el área de mantenimiento. De acuerdo con Aquino (2017), mencionó: “El MBC tiene por finalidad incrementar la eficiencia y efectividad del Área de mantenimiento, además su habilidad para anticiparse a eventos inesperados de falla, permiten gestionar oportunamente actividades de intervención garantizando así el normal funcionamiento de la línea de producción” (p.12).

Asimismo, para maximizar la eficiencia y efectividad del área de Mantenimiento se debe anticipar a futuros eventos de falla que permitan programar y planificar los trabajos de intervención favoreciendo así la continuidad operacional del sistema de producción. Así mismo Carnero (2012), expresó:

Entre las ventajas que se pueden obtener a partir de un programa de CBM son: aumento de la capacidad de responder a los clientes, la seguridad, la calidad del producto, la capacidad para llevar a cabo los controles de calidad de las intervenciones de mantenimientos internos y subcontratados. (p.199)

Beneficios del mantenimiento basado en condiciones

La implementación del mantenimiento Predictivo es totalmente rentable, por que logra con el tiempo obtener mayores beneficios, se pueden mencionar los siguientes:

- La anticipación de fallas permite realizar un programa de mantenimiento de esta forma se está preparado ante un posible evento de falla.
- No se realiza desmontajes periódicos debido al programa de mantenimiento.
- Aumento de la frecuencia de las revisiones detalladas con respecto a las inspecciones generales de mantenimiento preventivo.
- Se suprime casi el total de las fallas accidentales, lo cual se ve reflejado en una mayor productividad.
- Ahorro y disminución de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil.
- Garantía del cumplimiento de las características de diseño y mejora general de la seguridad de equipos e instalaciones. (García, 2012, p.56)

Fallas en el mantenimiento basado en condiciones

El análisis de fallos en esta Metodología, se enfoca tanto en aquellas fallas que han ocurrido y pronostica las posibles fallas que puedan suceder con acciones preventivas, este Análisis de fallos se basa en seis preguntas claves:

- a. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- b. ¿Cómo falla cada equipo?
- c. ¿Cuál es la causa de cada fallo?

- d. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- e. ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- f. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo? (Gerardo Trujillo C., 2015)



Figura 8. Condición probable de falla con respecto al tiempo, por Ho y Bae (2015) p.122

Además, es inevitable el deterioro según el paso del tiempo, pero se puede controlar con el Mantenimiento Basado en Condiciones si se aplica correctamente, mediante este proceso se puede generar un cuadro de estado en deterioro de la máquina o equipo, estos pueden mostrar tipos de deterioro según el mantenimiento utilizado y a su vez según su utilidad. Según Ho y Bae (2015) enunció:

Tipos de deterioro en equipos:

- Por envejecimiento de los componentes.
- Fallas de fabricación.
- Malos cuidados (falta de mantenimiento).

Perdidas de los equipos y sus categorías

Para lograr que las máquinas operen de manera eficaz durante el mayor tiempo posible es necesario descubrir, clasificar y eliminar los principales factores que provocan las diferentes fallas en los equipos, es decir el objetivo fundamental de todo Mantenimiento Productivo Total. De acuerdo con Cuatrecasas y Torell (2010), describió:

Los principales factores que impiden lograr maximizar la eficiencia global de un equipo se han clasificado en seis grandes grupos y son conocidos como Las Grandes Perdidas, están agrupadas en tres grandes categorías tomando en consideración el tipo de merma que pueden representar en el rendimiento de un

sistema productivo con intervención directa o indirecta de los equipos de producción. (p. 63)

Tipo	Pérdidas	Tipo y características	Objetivo
Tiempos muertos y de vacío	1. Averías	Tiempos de paro del proceso por fallos, errores o averías, ocasionales o crónicas, de los equipos	Eliminar
	2. Tiempos de reparación y ajuste de los equipos	Tiempos de paro del proceso por preparación de máquinas o útiles necesarios para su puesta en marcha	Reducir al máximo
Pérdidas de velocidad del proceso	3. Funcionamiento a velocidad reducida	Diferencia entre velocidad actual y la de diseño del equipo según su capacidad. Se pueden contemplar además otras mejoras en el equipo para superar su velocidad de diseño	Anular o hacer negativa la diferencia con el diseño
	4. Tiempo en vacío y paradas cortas	Intervalos de tiempo en que el equipo está en espera para poder continuar. Paradas cortas por desajustes varios	Eliminar
Productos o procesos defectuosos	5. Defectos de calidad y repetición de trabajos	Producción con defectos crónicos u ocasionales en el producto resultante y consecuentemente, en el modo de desarrollo de sus procesos	Eliminar productos y procesos fuera tolerancias
	6. Puesta en marcha	Pérdidas de rendimiento durante la fase de arranque del proceso, que pueden derivar de exigencias técnicas	Minimizar según técnica

Figura 9. Clasificación de las 6 grandes pérdidas. Cuatrecasas y Torell (2010) p.65

Implementación del mantenimiento basado en condiciones.

Al evaluar las diferentes alternativas se deben tener en cuenta los diferentes métodos para diagnosticar las fallas, ya que los equipos poseen diferentes características, luego de haber tomado la decisión de implementar el sistema de CBM (García, 2012 p. 68).

Del mismo modo, para implementar la estrategia de Mantenimiento Basado en condiciones Según Trujillo y latín (2016), manifestó “Para incrementar la confiabilidad y la disponibilidad de la planta, es una tarea que requiere de conocimiento y visión especializada, para hacerlo de manera efectiva y obtener mejores beneficios, debe utilizarse la norma ISO 17359 Monitoreo de condición y diagnóstico” (p.1).

Además, en la estrategia mencionada adquiere una serie de fases para implementar y obtener resultados favorables para los equipos y la vida útil de estos. Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018) mencionó las siguientes fases:

Fase 0: Registro y codificación de equipos

La estrategia de Mantenimiento Basado en Condición, en primer lugar, para realizar un análisis de fallo se plantea elaborar un inventario ordenado de los equipos, existe una diferencia entre una simple lista de datos con una lista de información elaborada, esta última presenta una estructura arbórea (Árbol Jerárquico), en el cual se encuentra un mayor detalle de todos los elementos que conforman la Planta. Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018), p.18

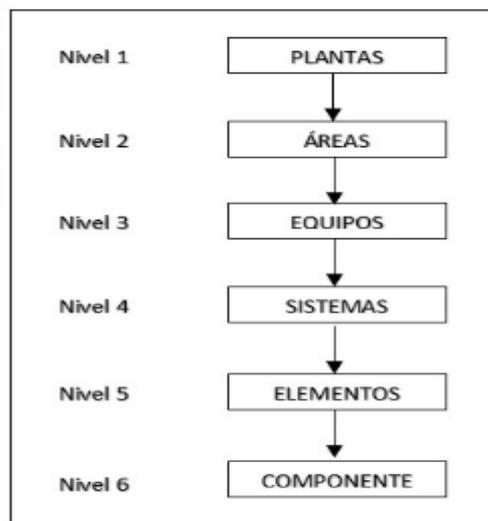


Figura 10. Estructura arbórea. Goodfellow (2000), Aquino (2018), p.17

A continuación, se definirá cada uno de los términos según Aquino (2018):

- **Planta:** Centro de trabajo
- **Área:** Zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función)
- **Equipo:** Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único
- **Sistema:** Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo
- **Elemento:** Cada uno de las partes que integran un sistema. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo
- **Componentes:** Partes en que puede subdividirse un elemento.

Codificación:

Para identificar cada uno de los equipos es recomendable tener una codificación, la cual precisa la información del área y característica propia de cada equipo. Según Ho y Bae (2015) explica “El código correspondiente de cada equipo está constituido por un sistema alfanumérico, el cual está compuesto por el código del área de trabajo y la clase de la máquina o equipo, con su correspondiente consecutivo”. p.124. Asimismo, sobre qué tipo de máquina es, y en qué línea de proceso se encuentra, además del consecutivo. Se hace mediante una metodología de código estándar, el cual únicamente revela información.

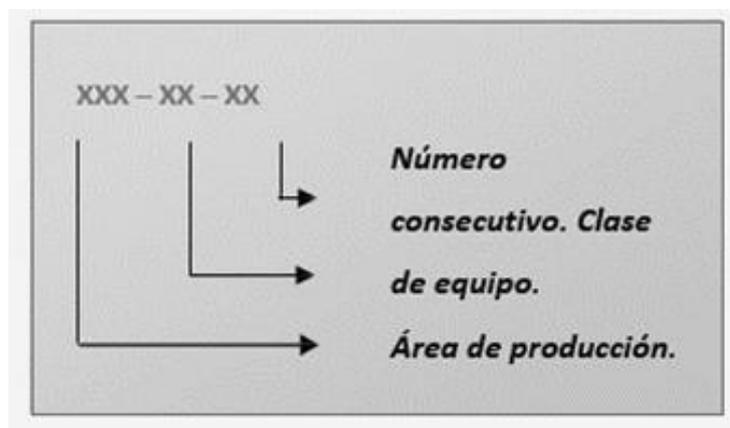


Figura 11. Codificación de equipos. Ho y Bae (2015) p.124

Fase 1: Listado de funciones y especificaciones.

Cada subsistema se subdivide y deben cumplir su función de este modo se probará que el sistema cumple su función. Del mismo modo, es conveniente detallar cada uno de los subsistemas que conforman una serie de equipos. Sin embargo, es conveniente detallar las funciones de componentes principales, estos permitirían optimizar recursos. A continuación, se cuenta con tres listados de funciones: Las funciones del sistema en su conjunto, los subsistemas que lo componen y los equipos significativos de cada subsistema.

Hoja de vida de los equipos de la planta

Para determinar la identificación de un equipo o máquina se hará necesario la hoja de vida del Equipo. La hoja de vida de los equipos permite determinar la identificación de un equipo o máquina, este documento permitirá incluir las características e información del registro de mantenimiento. Además, la hoja de vida de equipos debe contar con la siguiente información: Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018), p.21

- Nombre del equipo, marca, color y serie.
- Fecha de recepción del equipo, condiciones del funcionamiento de dicho equipo.
- Componentes del equipo.
- Usos del equipo.
- Duración de las garantías.
- Precauciones en su utilización.
- Fechas de limpieza, inspección visual y reemplazo de piezas defectuosas.
- Fechas de cambio de aceites y combustibles. Personas responsables del mantenimiento y operación del equipo.
- Observaciones generales.

Fase 2: Determinación de fallos funcionales y técnicos

Para determinar las fallas es importante realizar correctamente el listado de funciones, ya que una avería significa que el equipo no puede cumplir su función dentro del sistema, es probable detectar las fallas, esto se realiza por cada función que tenga los ítems (sistema, subsistema o equipo) y no se efectúe.

Además, se tiene que diferenciar entre fallos funcionales y fallos técnicos, la primera es la más importante, trata como aquel fallo que impide al sistema en su conjunto desempeñar su función principal y la segunda es aquel que, no imposibilita al sistema generar su funcionamiento, pero esto afectan tanto a sistemas como a los subsistemas o maquina en general, su función es anormal que puede asumir como resultado una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales.

Por otra parte, para determinar los fallos existen fuentes de información, son diversas entre las importantes podemos citar las siguientes: consultas históricas de averías, consulta al personal de mantenimiento y producción, estudios de los diagramas lógicos y funcionales de la planta. Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018), p.23

Histórico de averías

Son documentos históricos en donde se registran las fallas o incidentes que puedan haber sufrido las maquinas en el pasado, esto es una información valiosa para identificar

las averías potenciales de una instalación. Para deducir las incidencias que afectan a los equipos en un tiempo determinado, es agrupar las partes de trabajo por equipo.

A su vez, algunas empresas no tienen un archivo o registro histórico de fallas de sus maquinarias de manera sistemática en un periodo dado, pero siempre es permitido buscar los datos anteriores que nos permita estudiar un registro de equipos, una de ellas es las facturas de repuesto ir al área de contabilidad y registrar las facturas del material consumido en mantenimiento en un periodo determinado para deducir los acontecimientos que puedan afectar al equipo.

También, registrar los diarios de incidencias por los personales de turnos cada incidente surgido diario, para comunicarlo luego con el siguiente turno, Del estudio de estos diarios también es posible obtener información sobre averías e incidentes en los equipos. Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018), p.25.

Personal de mantenimiento y producción

Un factor clave a la hora de realizar un programa de mantenimiento es la comunicación con todos los miembros del equipo de trabajo, para que estos den sus apreciaciones sobre los incidentes más frecuentes y la forma como solucionarlos. Esta recolección de opiniones ayudará a que el equipo de mantenimiento pueda perfeccionar la estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones para luego dar con la ejecución del Programa de Mantenimiento.

Ficha técnica de los equipos de la planta

Es un documento que contiene toda la información técnica de los equipos y sub equipos de una línea de producción, incluyendo también sus repuestos, con datos de acuerdo con las normativas.

- Nombre del equipo.
- Descripción física.
- Modelo del equipo.
- Función.
- Ubicación.
- Relación de transmisión.
- Especificaciones técnicas.
- Especificaciones técnicas de la transmisión y del motor

Fase 3: Determinación de los modos de fallo

A continuación de identificar todos los fallos que se presentan en un sistema se procederá a diagnosticar los modos de fallo, este lo definimos como el origen principal de una avería o condiciones que la acompañan. Cada modo de fallo puede presentar múltiples causas que nos direccionaran a identificar la causa raíz.

En resumen, dependerá con qué grado de impacto se estudiarán los modos de fallo e identificar en que media será técnicamente viable. Según Goodfellow (2000) citado por Aquino (2018), p.27

Formato reporte de fallo

Este documento tiene por finalidad recabar la información al momento del reporte de fallos, este a su vez servirá de soporte a la documentación en cualquier equipo.

Fase 4: Análisis de la gravedad de los fallos. Criticidad

El paso a seguir para establecer los defectos de cada modo de falla es clasificarlo según la gravedad de las consecuencias, por lo cual el estudio de criticidad analiza y saca a la luz los elementos más vulnerables. Según Márquez (2015) expresó “El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones” p.42

Además, obtenidos una vez los resultados del análisis resaltar los elementos más vulnerables clasificando en un orden jerárquico entre la criticidad alta, media o baja, esto servirá para implementar un protocolo de mantenimiento ajustado a los requerimientos que se presente la instalación.

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que sirve como instrumento de ayuda para determinar la jerarquía de los procesos complejos de los sistemas, equipos y elementos, permitiendo subdividir los elementos en secciones que se pueda manejar de una manera controlada y auditable. La criticidad se puede manifestar de un punto matemático como:

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

Dónde:

Frecuencia: Está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado.

Consecuencia: Esta referida con el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

El análisis de criticidad genera una relación ponderada desde elementos más críticos hasta el menos crítico de todo el proceso analizado, existe una categorización: Alta criticidad representada por color Rojo luego, la mediana criticidad representada por el color Amarillo por último la baja criticidad representada por el color Verde.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos de operación y mantenimiento
- Ratio de fallas
- Tiempo de reparación principalmente.
- Frecuencia de Fallas

Factor de criticidad de la máquina (FCM)

Los equipos que están en proceso son críticos por la acumulación de fallos repentinos que originan grandes pérdidas en la producción, una tarea extremadamente crítica está relacionada con la seguridad lesión o muerte. El valor de Factor de Criticidad de la Máquina tiene una escala del uno al diez, donde se determina al diez a una criticidad extrema alto riesgo y uno muy bajo.

Método sencillo para estimar el FCM

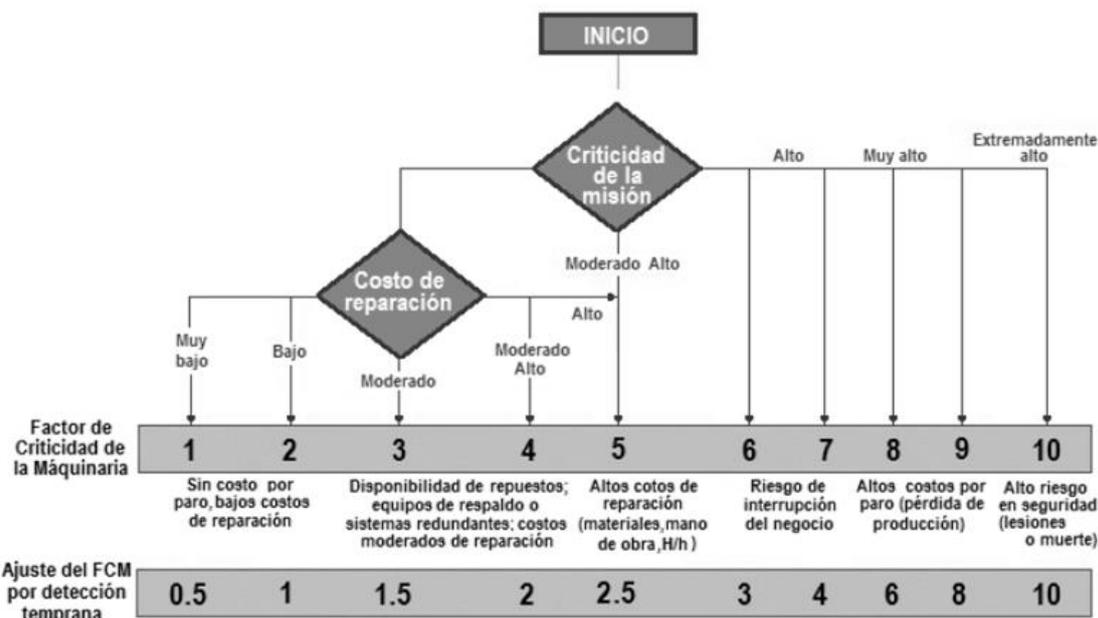


Figura 12. Factor de criticidad de la máquina. Márquez (2015), p.43

Técnicas para la determinación de los equipos críticos

Existen técnicas más usuales para establecer la criticidad en las máquinas en una planta industrial son las siguientes:

Frecuencia de falla: Son las veces que falla cualquier componente del sistema.

Impacto operacional: Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Nivel de producción manejado: Es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.

Tiempo promedio para reparar: Es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: Costo de la falla

Impacto en seguridad: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

Factor de ocurrencia de falla (FOF):

Se utiliza datos históricos de fallas de los equipos o análisis estadísticos de máquinas semejantes, para establecer la probabilidad de falla de un equipo, Los equipos no son ajenas a fallar por diversos factores y se les categoriza en una escala de 1 a 10. Altos valores de FOF regularmente corresponden a situaciones extremas o crónicas.

Factor de ocurrencia de Falla (FOF)			
ITEM	FACTOR DE OCURRENCIA DE FALLA	METODO A. SE CONOCE LA HISTORIA DE CONFIABILIDAD DE LA MÁQUINA	METODO B. SE DESCONOCE LA HISTORIA DE CONFIABILIDAD DE LA MÁQUINA
1	Nunca	La máquina tiene una larga trayectoria, nunca ha fallado y no muestra signos de afectar la confiabilidad.	
2	Rara vez	La máquina es altamente confiable y rara vez ha fallado (+ de 15 años de vida sin fallar)	
3	Raro	La máquina puede operar por más de 10 años sin fallar	
4	Poco frecuente	Se sabe que la máquina falla pero sólo después de 5 o más años	
5	Ocasionalmente	Las fallas suelen ocurrir en un rango de entre 3 a 8 años	
6	Común y probable	Las fallas suelen ocurrir en un rango de entre 3 a 5 años de su vida de servicio	
7	Poco frecuente	Las fallas tienden a ocurrir después de 2 a 5 años de su vida de servicio	
8	Frecuente	Las fallas tienden a ocurrir en un rango de entre 1 a 3 años de su vida de servicio	
9	Muy frecuente	Las fallas ocurren frecuentemente entre 0.5 a 2 años de su vida de servicio	
10	Crónica y cierta	Se espera que las fallas ocurran en menos de 1 año de su vida de servicio	

Figura 13. Factor de ocurrencia de falla. Márquez (2015), p.45

Existe dos Métodos, el primero es el método A cuando la empresa tiene un buen registro de la confiabilidad de la máquina y el segundo Método B cuando es desconocido o incierta el grado de confiabilidad, se utiliza el Cociente de Elementos de Confiabilidad (CEC)

Cociente de los elementos de confiabilidad (CEC):

Para esta técnica se usan cinco criterios críticos para obtener una evaluación personalizada que se utilizara para realizar el calcula del FOF. Evalúa el origen de las causas que ocasionan una mayor o menor probabilidad de falla de una máquina. El CEC es un diagrama de mando que contiene los cinco factores. Para cada unidad, el rango de la categorización va de izquierda a derecha, es decir de muy baja a extremadamente alta.



Figura 14. Cociente de elementos de confiabilidad. Márquez (2015), p.45

Matriz de criticidad global de la máquina (CGM)

La CGM se observa mediante una matriz que está constituido sobre el eje de las X el FCM y sobre el eje de las Y el FOF. Como se muestra en la figura una intersección en los cuadrados mostrando el valor de la CGM el resultado de la multiplicación del FCM y el FOF. La matriz posee 5 zonas de color que significan, las zonas presentes de riesgo. Los colores a representar son según los riesgos desde el mayor con el color rojo seguido por el naranja, amarillo, verde y por último el color azul.

		FACTOR DE CRITICIDAD DE LA MAQUINA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FACTOR DE OCURRENCIA DE FALLA	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Color	Riesgo	Acción requerida
Rojo	Riesgo Extremo	Inmediata
Naranja	Alto Riesgo	Alta Prioridad
Amarillo	Riesgo Manejable	Tan pronto como sea posible
Verde	Riesgo Menor	Mejora Continua
Azul	Bajo Riesgo	Ninguna

Figura 15. Matriz de criticidad global de la máquina. Márquez (2015), p.47

Fase 5: Determinación de medidas preventivas

Luego de diagnosticar los modos de falla, estos se clasifican según su índice de criticidad, luego se establecerá las medidas que permiten reducir sus efectos. Las medidas preventivas inmediatas son de 5 clases: Actividades de mantenimiento, ejecución de mejoras, capacitación del personal, reforma de instrucciones de operación y modificación de procedimientos de mantenimiento.

No sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación. (Goodfellow, 2000).

Tareas de mantenimiento

Son las actividades que deben llevarse a cabo con el propósito de evitar y reducir fallos.

Las tareas de mantenimiento son los siguientes tipos:

- **Tipo 1:** Inspecciones visuales. Estas son rentables debido a que suponen un bajo costo, asimismo dependerá de la experiencia y criterio del observador.
- **Tipo 2:** Lubricación. Bajo coste, no se necesita especialización técnica para su aplicación.
- **Tipo 3:** Evaluar el correcto funcionamiento del equipo, la revisión de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones.
- **Tipo 4:** Verificar el normal proceso ejecutado con instrumentos externos del equipo.
- **Tipo 5:** Tareas eventuales. Se llevan a cabo tomando como criterio el estado del equipo. No se realizan si el equipo presenta señales que indican que la maquina se encuentre en mal estado. Estas tareas son:
 - Limpiezas eventuales, si la maquina da señales de encontrarse sucio.
 - Ajustes eventuales, si el funcionamiento del equipo refleja una variación en alguno de sus parámetros
 - Cambio de piezas, se da luego de una inspección se observa que es necesario realizar el cambio de una pieza de la máquina.
- **Tipo 6:** Al momento de realizar las tareas de mantenimiento con sus respectivos procedimientos verifican el funcionamiento a un tiempo determinado o a cada cierta hora para identificar el estado del equipo, estas tareas pueden ser los ajustes, limpiezas y sustitución de piezas.
- **Tipo 7:** Los Overhaul o Hard Time también llamados mantenimiento Cero Horas que realiza las grandes revisiones que tiene como objetivo mantener a los equipos como si tuviera cero horas de funcionamiento.

Una vez identificada las fallas de los equipos, se debe determinar que tarea de mantenimiento es necesaria para evitar o minimizar las causas que originan las averías. A más cantidad de las fallas y se agrave los equipos, mayores cantidades de recursos se destinarán al mantenimiento para evitar estos daños. Según (Goodfellow, 2000).

En efecto, el punto anterior indica, es necesario clasificar los fallos según el grado de consecuencias; si el fallo ha resultado ser crítico, requiere de una atención

inmediata y cualquier actividad puede ser de aplicación. Si el fallo es importante, se considerará algunas limitaciones, y si, por último, si el fallo es tolerable, solo se emprenderán acciones sencillas que no admita ningún coste.

Si una avería resulta ser crítica, y esto genera graves consecuencias, se evidencia toda actividad para solucionarlo. Se trata de evitarlo o de minimizar los efectos realizando la limpieza, dando ajuste a elementos menores, cambiando piezas y realizando una inspección general para mitigar algún síntoma de falla.

- **Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas.**

Identificadas las medidas preventivas para mitigar los fallos potenciales de un sistema, se procede a categorizar las medidas de acción por tipos: Acciones de mantenimiento, mejoras, instrucciones de operación, actividades de mantenimiento y capacitación, esto hará viable su implementación.

Plan de mantenimiento

El plan de Mantenimiento debe ser, entre otras cosas, realizable. De acuerdo con García, 2012, p.39

La importancia de un plan de Mantenimiento Basado en Condiciones se sustenta en haber identificado todos los fallos existentes y cómo solucionarlos. Asimismo, para elaborar un ideal programa de mantenimiento se debe verificar que todo lo que se precisa en el plan es factible realizarlo, que una vez redactado se incluyan todas las actividades y fijar grados de impacto.

Se forma el grupo de trabajo, se nombra a los encargados de las realización de las tareas, están deben verificar si cuentan con los recursos suficientes para la realización de las actividades, además se debe llevar a cabo capacitación antes de la puesta en marcha del plan, con información detallada de todas las actividades, acciones que deben emprenderse en caso ocurra un incidente, supervisar la ejecución de las actividades durante las primeras semanas de implementación registrando las observaciones y sugerencias.

Cuando se ejecuta un plan de mantenimiento con diferentes trabajos se manifiestan una mejora continua que esto ayuda a proceder de una manera eficiente realizando los monitoreos frecuentes y a su vez a los trabajos que resultan innecesarias,

para elaborar el plan de mantenimiento basado en condiciones es útil ya que se basa en un análisis de las fallas principales de los equipos teniendo como ventaja principal el tipo de mantenimiento preventivo que nos brinda detectar de manera anticipada.

Evaluación de las necesidades del sistema

Se debe analizar los criterios tanto Económicos y estratégicos, el primero analiza los costos de mantenimiento en función a la mano de obra, los equipos críticos y repuestos, las pérdidas de producción ocasionados por paros inesperados. El estratégico toma en cuenta las incidencias que afectan la capacidad del sistema productivo en los que pueden destacar: la cantidad de paradas, la cantidad de máquinas críticas, desenvolvimiento operacional de los equipos con el desgaste, Recursos para mantenimiento.

Reordenamiento de la estructura del departamento de mantenimiento.

Reordenamiento de la estructura del departamento de mantenimiento. Para una estructura, los técnicos de mantenimiento tienen que trabajar en dos equipos, la primera en un mantenimiento predictivo y el otro grupo se dedica a un mantenimiento correctivo, esto se realiza para los trabajos correctivos con urgencia impidan las tareas de mantenimiento predictivo, por esta razón es necesario trabajar con personales capacitados en técnicas predictivas con el objetivo de cumplirlas inspecciones o registro de datos.

Evaluación de alternativas de operación.

En cuanto a la evaluación consta de cuatro opciones de operación para la ejecución de un sistema de mantenimiento Basado en Condiciones. Según el autor (García, 2012) manifiesta:

- **Contratación del servicio de monitoreo.** Para realizar un servicio de un mantenimiento predictivo se tiene que comprobar si esa técnica es eficaz según eso proceder a un análisis para implementar esa técnica, hay empresas que se dedican a realizar ese tipo de servicios facilitando la ejecución de este tipo de mantenimiento.
- **Medición más servicio de análisis.** Es una forma de implementación sencilla cuando el propio personal de la empresa identifica las irregularidades, se lleva a cabo en la empresa donde la empresa compra los equipos elementales para las

mediciones, cuando se observa el incremento de la severidad de los datos, se hará necesario de un servicio de diagnóstico más a detalle. Se prescindirá de las labores del servicio externo y el personal interno de la empresa estará capacitado a la nueva tecnología.

- **Medición y grabación de indicadores.** Para realizar el servicio de análisis es necesario adquirir un equipo donde se pueda registrar los datos y poder almacenarlos, esto ayudara a realizar un diagnóstico externo, donde cada señal o característica de los equipos permita identificar si se interviene a la máquina. Para este tipo de servicio se adquiere personal altamente capacitado el cual debe estar familiarizado con la base de datos y los diagnósticos que se puedan informar.
- **Medición y análisis con equipos propios.** En este nivel se hace necesario obtener equipos de análisis oportuno, y contar con personal altamente capacitado para su ejercicio. Se ve razonable su inversión cuando se desea mitigar las paradas inesperadas ocasionada por el desperfecto de algún equipo que a su vez conlleva un alto costo por el tiempo perdido del sistema.

Clasificación de equipos para sistemas de control.

Las periodicidades de revisión de los niveles de operación en condiciones estándares se pueden registrar de varias maneras y con diversos niveles de instrumentación. Se recomienda clasificar a los equipos en tres clases:

- **Máquinas de propósito general que no son críticas.** Se llevan a cabo por el personal técnico, no se requiere de análisis especializado, es permitido solo el uso de registradores de vibración simple o analizadores de espectros.
- **Los equipos críticos,** son analizados por el personal capacitado en Mantenimiento Predictivo, los cuales registrar las mediciones de trabajo diario, parámetros de temperaturas, velocidades, presiones, consumos irregulares de energía y demás variables de proceso que son complementarios para un correcto análisis.
- **Experiencia,** cuando se observan condiciones irregulares, reportan una inspección más detallada.

• **Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas**

En esta fase tiene que estar involucrado todo el personal explicando en que consiste el nuevo plan de mantenimiento, comparar y diferenciar con lo anterior y que fallos se debe evitar con estos cambios. Así mismo, se debe presentar a la Dirección de la planta una lista obtenida y depurada para su realización, también se tiene que calcular los costos, solicitar algunos presupuestos, calcular beneficios que se obtienen que la implementación de cada uno de ellos.

Más aún, se tiene que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado, se tiene que repasar constantemente para no olvidar las tareas nuevas recomendadas por los fabricantes, una vez revisado hay que tratar de que la implementación sea lo más rápido posible.

Puesta en marcha de las acciones formativas

Las acciones formativas del Mantenimiento Basado en condiciones forman planes de formación que tiene como objetivo solucionar problemas tangibles para lograr una mejora en los resultados.

Para ejecutar los diferentes cambios en las instrucciones de operaciones y mantenimiento es indispensable conocer todo lo implicado y también entender los cambios, por ello es necesario planificar y organizar reuniones formativas y capacitación a todo el personal con puntos detallados en los nuevos procedimientos para poder verificar y controlar lo que se estudió perfectamente.

Herramienta de apoyo para la documentación de mantenimiento predictivo

Herramienta con la cual se pretende documentar y servir de organizador para la información acerca del mantenimiento predictivo, además de mostrar la información adquirida durante el proceso de realización de plan de mantenimiento, la herramienta se realiza en Visual Basic con una estructura de base de datos para, en dado caso, buscar información de los equipos de la planta que se encuentran allí consignados.

Ícono 1: Permite cargar los documentos que evidencian el análisis los cálculos, los planos y demás información que hace parte de las respectivas herramientas predictivas ejecutadas en el mantenimiento.

Ícono 2: Hace referencia a las consultas por máquinas correspondientes a cada una de ellas por fechas.

Ícono 3: Personal que desarrollan el aplicativo.

1.3.2 Tema asociado a la variable dependiente

Confiabilidad de los equipos

Según Mora (2009), Confiabilidad es la probabilidad de que una maquina o sistema desempeñe su objetivo principal correctamente para lo cual fue creada de acuerdo a los parámetros de uso establecido, dentro de un tiempo determinado bajo condiciones operacionales previamente delimitadas y contantes.

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Disponibilidad de los equipos

La disponibilidad es una estrategia moderna, que genera grandes beneficios al ser usado, Así mismo se basa en un amplio análisis estadístico y de condiciones para mejorar y mantener una alta confiabilidad de sus activos con la colaboración del personal de la organización. (García, 2012 p. 90).

Del mismo modo, esto mide la frecuencia de ocurrencia de averías y fallas en el tiempo, a menor frecuencia de fallas la confiabilidad del equipo es aceptable y si no se detecta fallas el equipo es confiable a un 100%, pero si la frecuencia se eleva es considerado el equipo poco confiable.

Por otra parte, según Mora (2009) manifiesta: “el concepto de probabilidad es que un equipo cumpla con su funcionamiento satisfactoriamente cuando esté en funcionamiento y trabaja en condiciones estables considerando los tiempos de operación, reparación, tiempos inactivos y lo principal el tiempo de mantenimiento” (p.20).

Disponibilidad mecánica

Se basa en la disponibilidad de un equipo que pueda cumplir en función de manera global los porcentajes de los tiempos totales de los equipos según su funcionamiento para lo cual fue fabricado, El porcentaje mayor de 85% es el valor que garantiza la calidad de gestión de mantenimiento Márquez (2015), p.50

Según el ingeniero Lourival Tavares para hallar la disponibilidad (R) se basa en la función del Tiempo Medio entre Fallas y en el tiempo promedio entre fallas.

MTBF

El Tiempo Medio entre Fallas, se realiza mediante un intervalo de tiempo entre el arranque de funcionamiento del equipo y la aparición de las fallas es el tiempo transcurrido. García, (2012, p. 131)

El MTBF (Tiempo promedio de reparación)

$$MTTR = \frac{\text{Nº de Horas parada por avería}}{\text{Nº Total de averías}}$$

MTTR

El tiempo promedio entre fallas, se basa en medir la efectividad de los equipos en sus condiciones óptimas mediante el tiempo de reparación de estos equipos cuando se encuentren fuera de sus servicios por cualquier avería, dentro de un periodo de tiempo. García, (2012, p. 131)

El MTTR (Tiempo promedio entre fallas)

$$MTBF = \frac{\text{Total de horas del periodo}}{\text{Total de averías}}$$

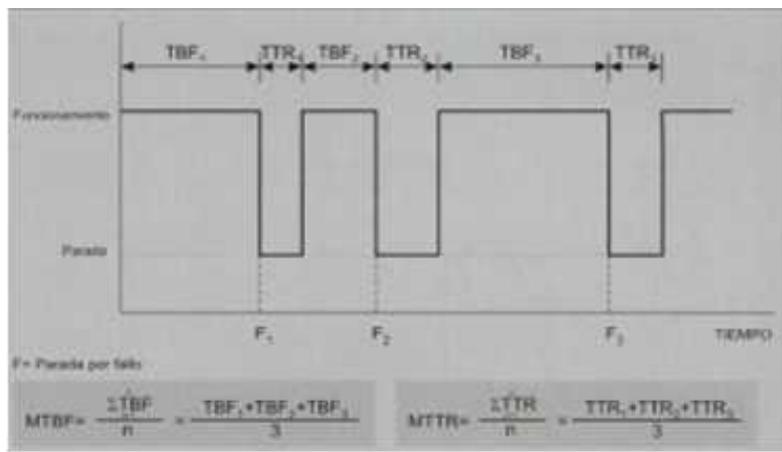


Figura 16. Indicador básico de mantenimiento

Los programas de mantenimiento predictivo son excelentes a la hora de identificar los problemas inminentes en las maquinas o sistemas, posteriormente implementar medidas correctivas, sin embargo, en limitado en el análisis para minimizar los problemas y evitar que estos se repitan, debido a la carencia de precisión en las actividades de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo tiene por función principal la mejora de la Disponibilidad de la empresa, se debe diagnosticar no solo los problemas de las máquinas y materiales, además todo lo que concierne al mantenimiento y la confiabilidad. Las herramientas claves en los programas actuales del mantenimiento predictivo: mantenimiento de precisión, análisis de causa raíz y la gestión proactiva de repuestos; son vitales para la mejora de la Confiabilidad de la máquina o sistemas.

Beneficios de la confiabilidad

Entre los beneficios de la Confiabilidad se pueden mencionar los siguientes:

- Incremento de la disponibilidad de los máquinas e instalaciones.
- Detección anticipada de las averías y mejora de respuesta en los tiempos de intervención de los equipos.
- Identificar el origen de las fallas y evitar que sucedan.
- Se logra la integración de la gestión de mantenimiento y producción.
- Se mejora la calidad de las operaciones y servicios de Mantenimiento.
- Incremento de las utilidades por garantizar el normal funcionamiento del sistema de producción.
- Se logra afianzar la competitividad en el mercado.
- Se perfecciona la gestión del mantenimiento.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

- ¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?

1.4.2 Problemas específicos

Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes:

- ¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la disponibilidad total de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?
- ¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Medio entre Fallas de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?
- ¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el Tiempo Medio de Reparación de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?

1.5 Justificación del estudio

Según Bernal (2010) para realizar una investigación las justificaciones se describen a las razones del porqué de y para que de la investigación que se va a realizar exponiendo los motivos importantes que vas hacer en el estudio, existen tres dimensiones de la justificación como teoría, económica, practica y metodología.

1.5.1 Justificación metodológica

Con respecto a la justificación Metodológica, Según Bernal (2010) indicó “En investigación científica, la justificación metodológica del estudio ocurre cuando el proyecto plantea un nuevo método o una estrategia que genere conocimiento probado y confiable” (p. 107).

Así mismo, De acuerdo con Wang, Braaten y Yu (2015), manifiestan: varias técnicas clave, incluyendo sensores y técnicas de procesamiento de señales, las técnicas de extracción de características, diagnóstico de fallos y técnicas de pronóstico y técnicas de optimización de mantenimiento deben ser tenidos en cuenta. (p.99)

1.5.2 Justificación económica

El presente proyecto de investigación minimiza los gastos ocasionados por las frecuentes fallas en los equipos de celda de flotación, esto se logra con una estrategia de pronóstico de fallas. De acuerdo con Velmurugan y Dhingra (2015) explicaron:

La predicción de futuras fallas puede proporcionar información clave para el proceso de toma de decisiones. Dado que los costos por interrupción del negocio

por lo general resultan ser significativamente más alto que el costo de llevar a cabo las reparaciones necesarias para devolver al servicio. (p.1)

Por lo tanto, la predicción del comportamiento futuro de un sistema o componente permite más óptima planificación del mantenimiento y ahorro de costes, porque las reparaciones y el tiempo de inactividad inesperados pueden ser evitados. De manera más general, la predicción de futuras fallas puede proporcionar información clave para el proceso de toma de decisiones. Dado que los costos por interrupción del negocio por lo general resultan ser significativamente más alto que el costo de llevar a cabo las reparaciones necesarias para devolver al servicio (Bernal, 2010).

1.5.3 Justificación práctica

“Una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo contribuye a la resolución de un problema o, por lo menos, plantea estrategias que al emplearlas favorecerán a solucionarlo” (Bernal, 2010 p. 106).

El presente proyecto demuestra porque se pondrá en práctica el plan de Mantenimiento Basado en Condiciones, de esta forma se pretende anticiparse a las fallas y poder evitarlas, tiene por objetivo realizar una gestión de mantenimiento anticipada y oportuna, de esta forma llevar a cabo un conjunto de acciones para frenar una inminente falla, asimismo tras su ejecución pretende reducir los tiempos de respuesta, de esta forma garantizar la disponibilidad de los equipos en la producción.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

Hi: La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019.

H₀: La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones No mejora la confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019.

1.6.2 Hipótesis específicas

HE1: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

HE2: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

HE3: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera.

1.7.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019.
- Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019.
- Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019

MATRIZ DE COHERENCIA		
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Principal	General	General
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera.	La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019
Específicos	Específicos	Específicos
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la disponibilidad total de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Medio entre Fallas de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de Flotación de	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de flotación de una
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el Tiempo Medio de Reparación de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

Figura 17. Matriz de coherencia

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación

Con respecto al diseño experimental, Hernández, Fernández y Baptista (2014) explicó:

Una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (p.121)

2.1.1 Cuasi experimental

El tipo de investigación del presente proyecto es experimental cuantitativa, puesto que las variables se logran manipular y poseen el propósito de comprobar la presencia de una relación causal entre dos o más variables, Con respecto al diseño experimental, Hernández, Fernández y Baptista (2014) explicó:

La expresión experimento posee al menos dos significados, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o ejecutar una acción” y después observar los efectos (Babbie, 2014). Este uso del término es bastante coloquial; así, hablamos de “experimentar” cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos de peinado y observamos el efecto que provoca en la percepción de nuestras amistades. Es decir, la particularidad de este término de experimento es que demanda la manipulación intencional de una acción para examinar sus efectos y resultados. (p. 129)

2.1.2 Tipo de investigación

De acuerdo a los datos registrados en la presente investigación, es adecuado representar el estudio de la siguiente manera:

Aplicada.

La investigación es de tipo aplicada por que el problema es real, se logra mejorar tras la aplicación de la estrategia, en este caso tras la aplicación de la estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones se obtiene como resultado la mejora en la confiabilidad de los equipos. Según Tamayo (2003) explicó “la investigación aplicada se le denomina también activa o dinámica, y se encuentra íntimamente ligada a la

investigación pura, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad” (p. 43).

Explicativa.

(Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 95), Su propósito es explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué contextos se manifiesta o por qué existe relación de dos o más variables.

Posee relación causal; intenta describir o acercarse a un problema, además pretende encontrar las causas del mismo, además describe el fenómeno, se investiga la explicación del comportamiento de las variables y su fin último es identificar las causas.

Cuantitativa.

En tipo de investigación cuantitativa según Hernández, Fernández y Baptista (2014) indicó “El un enfoque cuantitativo se utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías” p.4. Según el autor se recolecta datos numéricos para analizar con las variables determinadas para tomar las decisiones correctas usando las magnitudes cuantificables y empleando las herramientas de estadísticas.

Longitudinal.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) manifestaron “Estudios que alcanzan datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar deducciones acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos”. Por lo cual la presente investigación trabajara en un tiempo promedio de 16 semanas 8 semanas antes y 8 semanas después teniendo en cuenta los diferentes datos de la investigación.

2.2 Variables, Operacionalización

2.2.1 Variables

Según Hernández, et al. (2010), menciona que el concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos hechos y funciones lo cuales adquieren diversos valores es decir es la propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible a medirse u observarse. (p. 8).

Definición conceptual:

(Variable independiente)

Mantenimiento basado en condiciones - CBM

De acuerdo con Ruiz (2012) enuncio. Es una estrategia de mantenimiento que trata de optimizar los recursos y maximizar la disponibilidad o fiabilidad de las instalaciones. La clave del mantenimiento Basado en condiciones es el diagnosticar, saber en qué estado se encuentran los equipos, esto es una actividad continúa y sistemática, se analiza para realizar tareas de mantenimiento que tiene como objetivo compensar la degradación de los equipos. (p.42)

Dimensiones de la variable independiente

En la presente investigación se tomaron las siguientes dimensiones:

✓ Inspección de equipos

Pretende implementar controles sobre los elementos principales del equipo, que los mantengan en perfecto orden de funcionamiento, obteniendo parámetros correctos y fiables del funcionamiento, la calidad de la producción y la seguridad del proceso. (Cuatrecasas y Torrell, 2010, p. 161).

Para garantizar el buen funcionamiento y operación de la maquinaria un punto clave es la inspección. Se utiliza en prácticamente todas las industrias de la fabricación, tiene por finalidad incrementar la calidad, la productividad y eficiencia. Es decir, la inspección permite tomar decisiones sobre la posición, calidad e integridad de un producto. Por ende, se debe investigar la maquina en busca de posibles fugas, acumulación de residuos, fallas debido a fatiga potencial de materiales, fallas progresivas en los componentes, o fallas severas en el equipo para garantizar la integridad de las máquinas y conservarlas en condiciones seguras para su operación.

$$IE = \frac{EC}{TE} \times 100$$

EC= Equipos Conformes

TE= Total de Equipos

✓ Implementación

Dentro de la implementación en qué medida y en qué es conveniente aplicar esta técnica, realizando las ponderaciones y revisiones de equipos. (Cuatrecasas, 2010 p. 223).

$$\text{Implementación} = \frac{N^{\circ} \text{ de Maquinas Predictivo}}{\text{Total de Maquinas}} \times 100$$

✓ **Monitoreo**

La capacidad de predecir de manera anticipada las averías para los sistemas monitorizados, y posteriormente minimizar los tiempos del tiempo de paro de las máquinas, otorga ventajas claves a la empresa. (Cuatrecasas L. 2010, p.220).

$$TF = \frac{N^{\circ} \text{ de Maquinas Monitoreados}}{\text{Total de Maquinas}} \times 100$$

Definición conceptual:

(Variable independiente)

Confiabilidad

Confiabilidad Total

Según López (2016) manifiesta: Confianza de que un equipo u/o máquina que sufrió mantenimiento, ejerza su función en un determinado tiempo. (p.140)

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Disponibilidad Total:

De acuerdo con López (2016), expresa: Confianza que se tiene de que un equipo u/o máquina desempeñe su función básica, durante un período de tiempo. (p.52)

$$\frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

MTBF: Tiempo Medio entre Fallas
 MTTR: Tiempo Medio para Reparar

- **MTBF: Tiempo Medio entre Fallas**

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas Totales de periodo de tiempo analizado}}{N^{\circ} \text{ de Averias}}$$

- **MTTR: Tiempo Medio para Reparar**

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{N^{\circ} \text{ de Averias}}$$

2.2.2 Matriz de operacionalización de las variables:

Tabla 8. Mantenimiento basado en condiciones para mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de flotación de una compañía minera, Perú 2019

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de Medición
(INDEPENDIENTE) Mantenimiento Basado en Condiciones	Es una estrategia de mantenimiento que trata de optimizar los recursos y maximizar la disponibilidad o fiabilidad de las instalaciones. La clave del mantenimiento Basado en condiciones es el diagnosticar, saber en qué estado se encuentran los equipos, esto es una actividad continua y sistemática, se analiza para realizar tareas de mantenimiento que tiene como objetivo compensar la degradación de los equipos	Se define usando las siguientes dimensiones: Detección. Implementación, Monitoreo con sus respectivos indicadores.	Inspección de Equipo (Cuatrecasas, 2010, p.216)	$IE = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos (Cuatrecasas, 2010, p.216)	Ficha de control y recolección de datos	Razón
			Implementación (Cuatrecasas, 2010, p.223)	$\text{Implementación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$ (Cuatrecasas, 2010, p.223)	Ficha de observación, control y recolección de datos	Razón
			Monitoreo (Cuatrecasas, 2010, p.220)	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$ (Cuatrecasas, 2010, p.220)	Ficha de evaluación final y registro.	Razón

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de Medición	
(DEPENDIENTE) Confiabilidad	La confiabilidad operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización. (García, 2012, p. 90)	Se define usando las siguientes dimensiones: Tiempo Medio entre Fallas, Tiempo Medio para Reparar y Disponibilidad		MTBF: Tiempo Medio entre Fallas			
					$MTBF = \frac{N^{\circ} horas}{Total\ de\ Averias}$ (Mora A, 2009, p. 77)	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica
					MTTR: Tiempo Medio para Reparar		
				$MTTR = \frac{N^{\circ} horas\ de\ paro\ por\ averia}{total\ de\ Averias}$ (Mora, 2010, p. 77)	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica	
				$Disponibilidad = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$ MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar (Mora, 2010, p. 78)	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica	

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

De acuerdo con González (2016) indicó “La población es el conjunto de todos los elementos de la misma especie que presenta una característica determinada o que corresponden a una misma definición y a cuyos elementos se le estudiarán sus características y relaciones” (p.72).

Por otro lado, Niño (2011) explicó:

Para identificar la población se trata de especificar el objeto de estudio esto puede estar formado por una cantidad de unidades, es decir por aquellos elementos como objetos, animales, fenómenos, sucesos etcétera. Cuando se trata de especificar el objeto de estudio, es necesario partir de la identificación de la población que se va a estudiar, constituida por una totalidad de unidades, vale decir, por todos aquellos elementos (personas, animales, objetos, sucesos, fenómenos, etcétera) lo cual conforma una investigación. (p. 55)

El presente proyecto de investigación tendrá como población el análisis de los equipos críticos durante 16 semanas en el área de flotación en la Unidad Minera de Antapaccay, considerando una población finita, asimismo, “cuando se conoce el número de población se llama finita, caso contrario se le llamará infinita”. Según Icart, Teresa, (2011) citado por Gonzales (2016), p. 55.

2.3.2 Muestra

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) describieron “La muestra debe ser representativo de la población, asimismo es un subconjunto de la población con el cual se registrarán los datos, se definirán y delimitarán con exactitud” (p. 173).

Además, González (2016) explicó “Se utiliza una muestra cuando por razones de gran tamaño, limitaciones técnicas o económicas, no es posible tomar mediciones a todos los elementos de la población” (p.73).

La muestra como ya se indicó, es una fracción o una porción del total de artículos, por lo cual en esta investigación la muestra es 16 semanas, similar a la población. Según Hernández citado en Castro (2003), expresa que “si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra” (p.69).

Criterios de inclusión de la muestra

De acuerdo González (2016) enunció “Criterios de inclusión son todas las características de los integrantes de la población de referencia que permiten su ingreso o formar parte a la población en estudio” (p.75).

Criterios de Exclusión de la muestra

Por otra parte, González (2016) explicó “Criterios de exclusión son todas las características de los integrantes de la población de referencia que descartan su ingreso, no formar parte a la población en estudio” (p.75).

En el presente proyecto de investigación la población y la muestra son iguales, lo cual no se considera los criterios de inclusión y de exclusión.

2.3.3 Muestreo

Según González (2016) enunció:

Para que se pueda efectuar la elección de una muestra, es preciso usar procedimientos que conocemos como muestreo y esto sucede porque en efecto es que, si la muestra es equivalente a la población, ya no tendría que ser un requisito tener un muestreo. (p.83)

De tal forma que la investigación no hay muestreo porque la muestra no ha sido elegida probabilísticamente. Por lo tanto, el estudio no requiere un tipo de muestreo.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas

Acerca de las técnicas Niño (2011) explicó: “Los métodos de observación y de entrevista son las técnicas de investigación con procedimientos, operaciones o actividades, así mismo trabajan como instrumentos y medios de investigación” (p. 29).

Por otra parte, según Carrillo (2013), citado por González (2016) describió, “podemos mencionar que para la recolección de datos existen tres técnicas que son los más fundamentales para un proyecto de investigación y varios instrumentos de recolección de datos los mismos que se adecuan al proyecto de investigación” (p.34).

2.5 Técnicas de recolección de datos

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) explicaron:

En ambos procesos, las técnicas de recolección de los datos pueden ser múltiples. Por ejemplo, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas, etc. En los estudios cualitativos: entrevistas profundas, pruebas

proyectivas, cuestionarios abiertos, sesiones de grupos, biografías, revisión de archivos, observación, entre otros” (p.16).

Observación directa:

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), “la observación consiste la recolección sistemática, válida y confiable de comportamientos o conductas manifiestas”. (p. 309). Mediante este procedimiento identifica de manera directa y objetividad la situación actual del proceso del mantenimiento, se analiza los niveles de vibraciones para mejorar la confiabilidad de los equipos de las celdas de flotación.

Revisión documental:

De acuerdo con Lerma y Héctor (2016), “La revisión documental permite hacerse una idea del desarrollo y las características de los procesos y también de disponer de información que confirme o haga dudar de lo que el grupo entrevistado ha mencionado” (p.134). Los documentos relacionados a la implementación tanto instructivos y registros se analizaron para poder tener un control del mantenimiento predictivo.

Con respecto a la investigación se empleará la observación como técnica, es decir se evaluará y registrará las características de las variables en el presente estudio para examinar las dimensiones e indicadores.

2.5.1 Instrumentos

Con respecto a los instrumentos, según Sabino (2014), citado por Gonzales (2016) explicó:

Para la recolección de datos se indica que el instrumento es un recurso muy importante y se entiende que cualquier instrumento que puede servir al encargado de realizar la investigación en beneficio de aproximarse a los fenómenos, retirando la información. Se tiene que tener presente que elemento tiene como finalidad esquematizar el 100% en lo que se refiere a un anticipo de la investigación, simplificando la contribución de la teoría, lo cual clasifica la información, escogiendo la información que es correspondiente a los conceptos, indicadores y las variables que se utilizaron. (p 149)

Ficha de Registro

Hay que mencionar, además según Monje (2016), citado por Gonzales (2016) explicó: “La elaboración de instrumentos para la recolección de datos exige analizar la forma como dicho instrumento de medición cumple con la función para la cual ha sido diseñado. Un instrumento bien diseñado debe reunir dos cualidades importantes: confiabilidad y validez.” (p. 165).

En la empresa TAMCI se utilizarán fichas técnicas o formatos de medición en la toma de tiempos, formatos de control de la producción, recolección de datos, Hojas de registro e instrumentos de medición como; vibrometro (medición de vibración y oscilación).

2.5.2 Validez

Es de suma valor conocer la validez, ya que el instrumento mide las variables, según Niño (2011) describió:

La validez es una cualidad del instrumento que consiste en que este sirva para medir la variable que se busca medir, y no otra, es decir, que sea el instrumento preciso, el adecuado. Según esta cualidad, un instrumento (pregunta o ítem) “mide o describe”, lo que espera que mida o describa ni más ni menos. (p. 87)

Los instrumentos de la investigación fueron aprobados a través del criterio del juicio de expertos, han sido rubricados por ingenieros, cada uno con el grado de Magister en Ingeniería industrial de la universidad Cesar Vallejo

2.5.3 Confiabilidad

De acuerdo con Niño (2011) enunció: “La confiabilidad es un requerimiento elemental, porque garantiza la precisión y la veracidad de los datos. Para que se tome un instrumento como confiable, se debe examinar con veracidad al mismo elemento participante en distintos momentos y los resultados deben ser el mismo” (p.87.).

Se debe agregar que, según Herrera (1998), citado por Gonzales (2016) explicó:

Se conceptualiza que la confiabilidad resulta ser el punto donde se muestra de los resultados consistentes y coherentes que fueron obtenidos mediante un instrumento, se puede definir de otro punto de vista podemos decir que la confiabilidad es la aplicación repetitiva para entregar resultados equitativos y favorables. (p. 167)

Tabla 9. Juicio de expertos

EXPERTOS	GRADO	RESULTADO
Marcial RENE ZUÑIGA MUÑOZ	Magister	Aplicable
Javier PANTA SALAZAR	Doctor	Aplicable
Romel BAZAN ROBLES	Magister	Aplicable

La presente Investigación aplicará un análisis estadístico descriptivo, además la información será tomada de datos reales, identificados de la Minera Antapaccay - Cusco, además es necesarios emplear fichas de cálculo y recolección de datos, utilizaremos el Excel, para graficar los histogramas. También utilizaremos como método secundario el análisis inferencial, ya que se va a discutir las variables a través de una evaluación de hipótesis con el uso del software SPSS.

2.6 Métodos de análisis de datos

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) indicaron: “Para analizar los datos, en los métodos mixtos el investigador confía en los procedimientos estandarizados cuantitativos (estadística descriptiva e inferencial) y cualitativos (codificación y evaluación temática), además de análisis combinados”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2015, p. 586).

Asimismo, para el estudio, el tiempo estándar será medido en base a los procesos por ello se requerirá los registros en relación a tiempo que fueron empleados en cada uno de los procesos, mantenimiento de componentes y respuestas mecánicas, y para este caso es necesario que la medición sea cronometrada en cada uno de los procesos. Para llevar acabo lo mencionado, se llevará el control de Diagrama de Gantt, Fichas o formatos de medición en la toma de tiempos, fichas de control de la producción, formato de valoración de eficiencia y eficacia.

2.6.1 Análisis descriptivo

“El conjunto de métodos estadísticos que se relacionan con el resumen y descripción de los datos, como tablas, gráficos y el análisis mediante algunos cálculos” (Córdova, 2003, p.1).

Los datos serán analizados en forma de porcentaje, para ello se utiliza una estadística descriptiva que nos muestra los gráficos del análisis de la variable independiente.

2.6.2 Análisis inferencial

“La estadística inferencial es para probar la hipótesis y estimar parámetros” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.299).

Se utiliza la estadística inferencial, para obtener los resultados y contrastarlas con la similares de la muestra a toda la población, como la prueba de normalidad será

realizada mediante la prueba de shapiro Wilk por ser la muestra inferior a 30 y la prueba T de Student a través de la comparación de medias donde se contrasta la aceptación nula o hipótesis alterna, estas sirven para aceptar o rechazar parámetros y mediciones válidas, Se empleara el software SPSS versión 22 para el procesamiento de la información registrada para el análisis de datos.

2.7 Aspectos éticos

Acerca de los Aspectos éticos, según Niño (2011) explicó: “La verdad es que todo aspecto de investigación se encuentra con aspectos de ética, debido principalmente a que se involucran personas. Esto se hace evidencia cuando se tienen que observar conductas humanas, solicitar el diligenciamiento de instrumentos” (p. 75).

Así mismo, Según la Resolución de Consejo Universitario– N.º 0126-2017/UCV manifiesta:

Para realizar investigación científica existe una serie de normas que regulan las buenas prácticas y aseguran la promoción de los principios éticos para garantizar el bienestar y la autonomía de los participantes de los estudios, así como la responsabilidad y honestidad de los investigadores en la obtención, manejo de la información el pensamiento, interpretación, elaboración del informe de investigación y la publicación de los hallazgos. (p.2)

La presente investigación se compromete a proteger la propiedad intelectual, legitimidad de los resultados obtenidos en su estudio, así como la confidencialidad de los datos privados ofrecidos por la empresa TAMCI SRL., y mantener la privacidad de los participantes en la investigación.

2.8 Proceso de mejora

2.8.1 Generalidades

En los últimos años, las empresas han evolucionado progresivamente en el entorno tecnológico, respaldado en los sistemas autónomos que simplifican las necesidades dentro de sus procesos. Esta tendencia del mercado a automatizar sus procesos y garantizar el Mantenimiento de sus equipos, ha conllevado a la creación de empresas que brindan servicios relacionados al desarrollo de proyectos de automatización y Mantenimiento Industrial. TAMCI S.R.L. es una empresa proveedora de servicios de desarrollo de aplicaciones autónomas. No existen registros de cuantificación de empresas con actividad económica de prestación de servicios para proyectos de Automatización y Mantenimiento Industrial.

Descripción de la empresa.

TAMCI S.R.L es una mediana empresa peruana conformada por doscientos diez colaboradores entre ellos un grupo de ingenieros, técnicos y especialistas en aplicaciones y diseño de sistemas, en diversos campos relacionados a la Automatización y Mantenimiento Industrial, brinda servicios personalizados. Fue fundada en el 2010, por cuatro socios: dos profesionales en electrónica, automatización industrial, un profesional en electricidad y un profesional en mecánica. Comenzó con el desarrollo de trabajos en el rubro de electromecánica, metalmecánica en el 2012, apuesta por impulsar su área de automatización industrial, en setiembre de ese mismo año, obtiene la representación de la marca Schneider Electric en el Perú, siendo su proveedor de soluciones para softwares SCADA y soluciones de control autónomo.



Figura 18. Empresa TAMCI

Localización

Dirección legal: Av. Próceres de la Independen Nro. 1929 Dpto. 8 Int. Pis 5 Urb. San Hilarión (A 3)

Distrito/ Ciudad: San Juan de Lurigancho

Departamento: Lima

Teléfonos: (+51 1) 374 6505

Razón social

Razón social: TAMCI SRL

Página Web: www.tamciperu.com

Actividad Económica: Servicios relacionados al desarrollo de proyectos de automatización y Mantenimiento industrial.

Representante: Ing. Marco Antonio Rojas Hurtado

Principales clientes

Los clientes que maneja la compañía son:

- Compañía Minera Antamina S.A.
- Carvimsa S.A
- JT Técnicos Ejecutores E.I.R.L.
- Papelera Nacional S. A.
- Global Alimentos S.A.C.
- Kimberly - Clark Perú S.R.L.
- Sima Perú S.A
- Compañía Minera Antapaccay S.A.
- Compañía Minera Las Bambas S.A.
- Alicorp S.A.A.

Principales servicios

Automatización

- Desarrollo de sistemas de protecciones de descarga a tierra y sobre tensiones.
- Tableros eléctricos y proyectos llave en mano, integración de sistemas de control industrial.
- Sistemas de medición y adquisición de parámetros eléctricos.
- Diseño de planos eléctricos (E plan, AutoCAD)
- Diseño, desarrollo y servicio técnico en proyectos y sistemas de automatización, optimización de procesos y control de la producción.

Mantenimiento

- Alumbrado, Sistemas sanitarios, Herramientas Neumáticas, Hidráulicas y Eléctricas.
- Mantenimiento a montacargas, mantenimiento a remolcadores.
- Mantenimiento a equipo productivo, mantenimiento a Plantas Concentradoras.
- Mantenimiento electromecánico general, mantenimiento de generadores de calor.
- Mantenimiento de sistemas neumáticos, barrido.

Instalaciones

- Cableado de distribución, fuerza, control, instrumentación, neumática, red Profibus PA y DP, Internet, RS485, fibra óptica y otros.
- Instrumentos de procesos tales como sensores de nivel, sensores de ultrasonido, sensores de radar, transmisores de flujo, transmisores de presión, transmisores de temperatura, trasmisores de humedad, medidores de ph, encoders, celda de carga, válvulas sanitarias, válvulas moduladoras, convertidores I/P (presión corriente), etc.
- Automatización: SCADA, PLC, Paneles de Operación, Variadores de Frecuencia, Módulos I-O Distribuidos, Fuentes de Alimentación, Switch Industriales. En las marcas: Schneider Electric, Allen Bradley, Phoenix Contac.

Organigrama

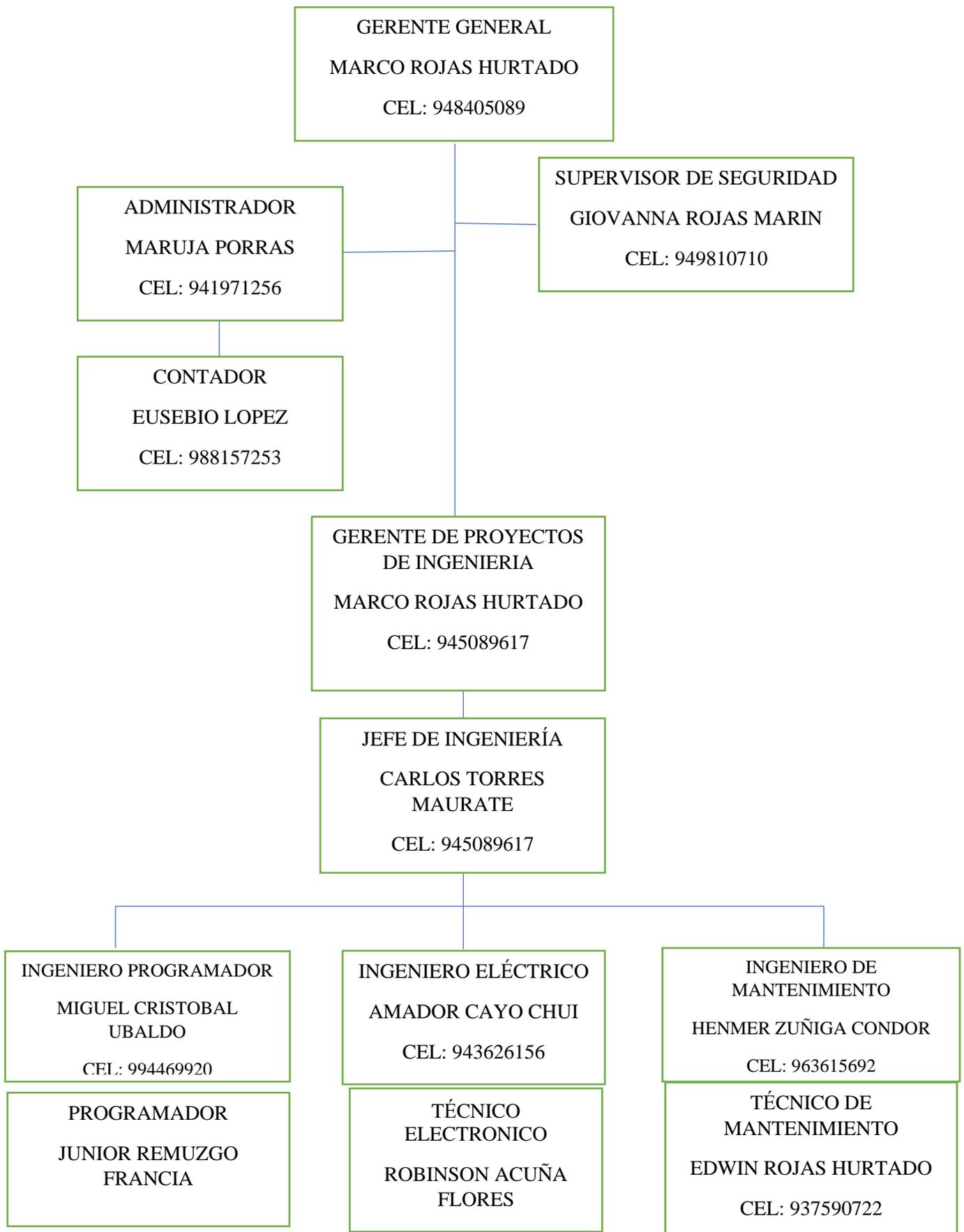




Figura 19. Plano en el área de flotación

PLANO DEL AREA DE MANTENIMIENTO



Figura 20. Plano del área de mantenimiento

Misión

Proveer equipos y servicios integrales de asesoría, implementación y soporte; con soluciones tecnológicas que brinden las herramientas para alcanzar la mayor eficiencia, logrando así la calidad y rentabilidad en los negocios que participa la compañía.

Visión

Posicionarse dentro del grupo de las mejores empresas de soluciones tecnológicas que operan en el mercado peruano.

Compromiso

Ingeniería y asesoría en el desarrollo de proyectos, ofreciendo alternativas de solución confiables, económicas y eficientes.

- Suministros de equipamientos con marcas líderes en su rubro. Todos certificados en performance y calidad.
- Entender perfectamente los problemas que existen en una cadena de producción, trabajar con la participación del cliente y lograr un compromiso para resolver los problemas.
- Usar métodos estandarizados y seguir instructivos adecuados para resolver los problemas particulares de los clientes.

Valores

La empresa trabaja basada en concepto de valores, atendiendo a nuestros clientes y al mercado en general de forma ética, técnica y profesional, con seriedad ante los requerimientos y/o necesidades relacionadas con nuestra actividad.

- Compromiso a la excelencia, perfección y detalles
- Ética, integridad, franqueza y respeto.
- Lideramos con el ejemplo
- Trabajamos en equipo
- Nos comunicamos abierta y honestamente
- Compromiso con el cliente y su trabajo
- Innovación
- Seguridad
- Puntualidad
- Responsabilidad
- Desarrollo humano y tecnológico.

Ubicación



Figura 21. Ubicación de la planta

Procesos generales de la empresa

TAMCI S.R.L actualmente dispone de dos áreas de trabajo el área de Mantenimiento y el área de automatización, aparte dispone de áreas de apoyo como: administración, contabilidad, ventas y logística. A continuación, en la siguiente gráfica observaremos un mapa de proceso de la compañía.

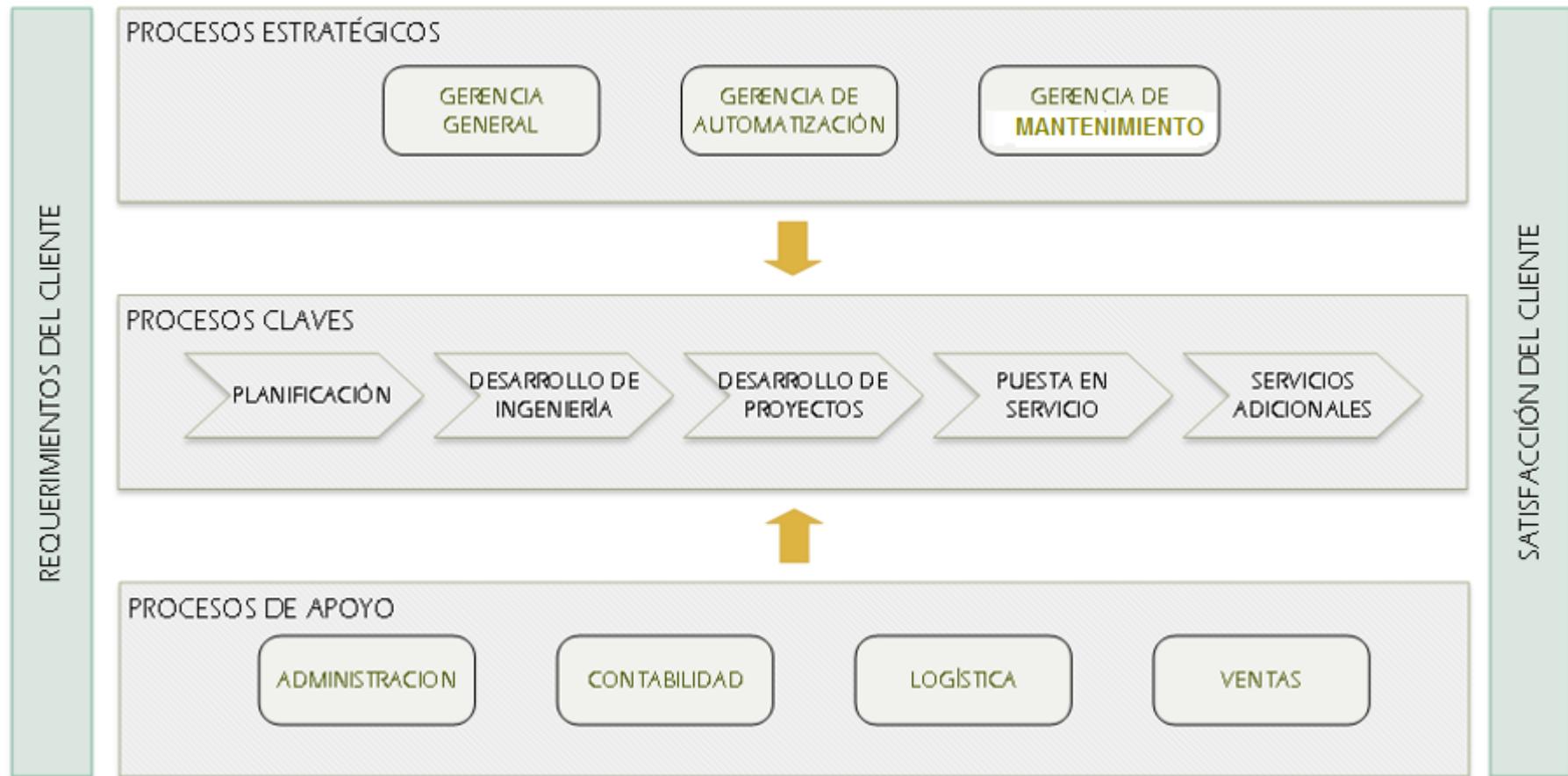


Figura 22. Proceso general de la empresa

Proceso del área de estudio

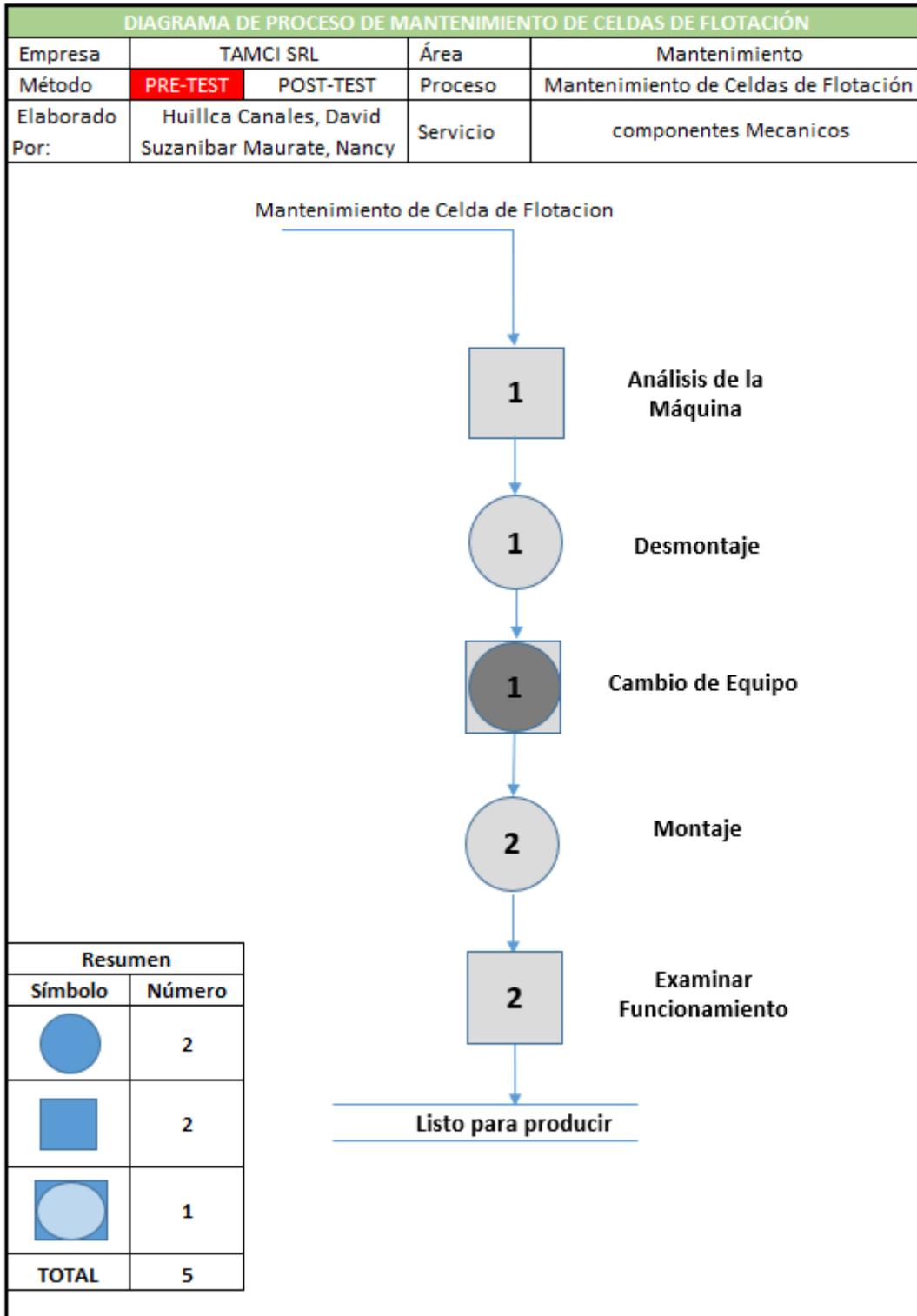


Figura 23. Diagrama de proceso de mantenimiento

2.8.2 Identificar la problemática

La empresa TAMCI se encarga de prestar servicios de mantenimiento de los equipos de la celda de flotación dentro de la actividad Minera, una de ellas es la Minera Antapaccay situada en la región de Cusco, el servicio de mantenimiento se realiza en el área de Flotación con 24 celdas, las dos primeras celdas de cada fila corresponde a una flotación Rapper de alto concentrado (Máquinas Críticas), las celdas restantes corresponde a una Flotación Rapper Skanber, posee un concentrado de baja ley, a estas celdas se le realiza su respectivo mantenimiento de acuerdo al cronograma de la minera.



Figura 24. Equipos críticos del área de flotación

En el proceso de flotación, regularmente se observa que ocurren paradas imprevistas, debido a la ocurrencia de fallas en la máquina, ello conlleva a detener el normal funcionamiento del proceso, una de las causas es el recalentamiento de motores, fugas de grasa, vibraciones y ruidos de piezas que chocan al estar desgastadas por estar expuestos a ambientes de corrosión y altas presiones de trabajo, lo que origina baja disponibilidad de las máquinas, pérdidas en el tiempo de producción, lo cual conlleva el incremento de la jornada laboral, nivel bajos de eficiencia y retraso e incumplimiento en la entrega del servicio al cliente.

En el capítulo I, se realizó el diagrama de causa y efecto de los equipos de celda de flotación con las seis M de calidad, llegando a la conclusión que los elementos Motor, faja de transmisión, válvulas, volante de mecanismo de la celda y otros elementos y componentes son los que está más expuesto a sufrir averías, por esta razón se analizará a detalle estos componentes para evitar las paradas de las máquinas de celda de flotación.

Después de haber realizado el análisis en el diagrama Ishikawa ya podemos observar las mayores causales que están generando las fallas en los equipos de flotación, donde se efectuó un diagrama de Pareto lo cual se alimentará más a profundo en base a la matriz de relacional indicada. Donde se presenta el valor de evaluación para la matriz.

- 0: Sin Relación
- 1: Relación de causalidad muy débil
- 3: Relación de causalidad media
- 5: Relación de causalidad fuerte

Después de analizar la matriz de relación, se encuentra suma de ocurrencias y problemas que se encontró en el mantenimiento de equipo de flotación, se observa que las principales causas son fallas de motor (18%), excesiva vibración (17%) así mismo, Falta de Mantenimiento Predictivo con (13%), Desalineamiento de eje (12%) y Falta de Capacitación (12%) y las demás causas de fallas representadas en un porcentaje mínimo.

N°	CAUSAS QUE GENERAN FALLAS EN LA CELDA DE FLOTACIÓN	Frecuencia Relativa	Frecuencia	% Total Acumulado
15	FALLA DE MOTORES	25	18%	18%
16	EXCESIVA VIBRACION	23	17%	35%
11	FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	18	13%	47%
14	DESALINEAMIENTO DE EJE	17	12%	60%
6	FALTA DE CAPACITACIÓN	17	12%	72%
4	DAÑO CAUSADO POR INSTALACIÓN	12	9%	81%
7	FALTA DE TECNICA DE MEDICIÓN	3	2%	83%
8	FALTA DE CONTROLES	3	2%	85%
10	METODOS DE TRABAJO NO ESTANDARIZADOS	3	2%	87%
2	REPUESTOS ALTERNATIVOS	2	1%	88%
3	ADQUISICIÓN DE INSUMOS	2	1%	90%
5	AJUSTE INCORRECTO	2	1%	91%
9	FALTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	2	1%	93%
12	INSPECCIONES PERIODICAS INADECUADAS	2	1%	94%
13	DAÑOS EN EL IMPULSOR	2	1%	96%
17	FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	2	1%	97%
19	CORROSION	2	1%	99%
1	ADQUISICIÓN DE REPUESTOS	1	1%	99%
18	AREA DE TRABAJO SIN COBERTURA	1	1%	100%
TOTAL		139	100%	

La Empresa TAMCI SRL realiza servicio de mantenimiento en el área de flotación, se asume 8 equipos de flotación marca Metso modelo RCS, se resalta que estos equipos están involucrados directamente en la problemática que se tiene en la investigación, los cuales se detallará en el cuadro adjunto.

Tabla 10. Relación de equipos críticos

ÍTEM	EQUIPO	UBICACIÓN	EQUIPO
1	Celda de Flotación RCS01	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
2	Celda de Flotación RCS02	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
3	Celda de Flotación RCS03	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
4	Celda de Flotación RCS04	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
5	Celda de Flotación RCS05	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
6	Celda de Flotación RCS06	Ubicado en el Área de Flotación FTR-0001	RCS
7	Celda de Flotación RCS07	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS
8	Celda de Flotación RCS08	Ubicado en el Área de Flotación FTA-0021	RCS

A continuación, se muestra una serie de fotografías que refleja el trabajo en el equipo realizado para la ejecución de las tareas propuestas:



✓ Área de flotación



✓ Uso de puente grúa para desmontaje



✓ Motores de Celda de Flotación



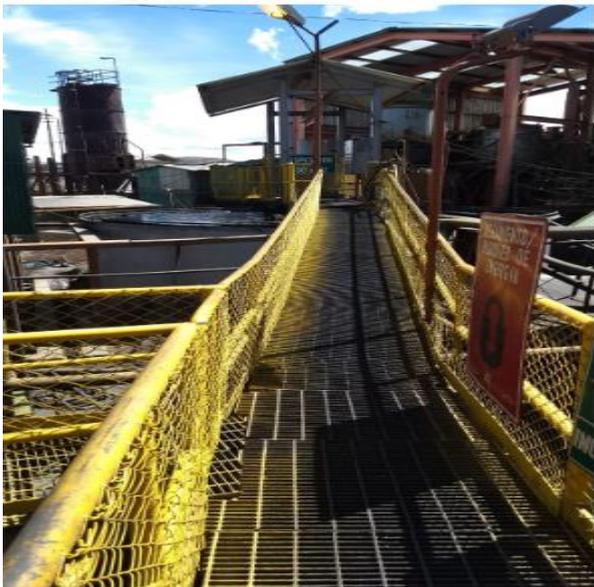
✓ Uso de EPPs para desmontaje



✓ Dificultad en el desmontaje de la Celda



✓ Dificultad en el traslado de herramientas



✓ Dificultad en el traslado de herramientas



✓ Contratiempos debido a Tormentas Eléctricas



✓ Desmontaje de Celda de flotación



✓ Falta de mantenimiento Predictivo



✓ Falta de Técnicas de medición



✓ Falta de técnicas de medición



✓ Fallas de Motores y desalineamiento



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos



✓ Excesiva vibración y ruptura de
rodamientos

En la ficha de recolección de datos en el periodo de Agosto – setiembre, se observó los indicadores de disponibilidad el bajo rendimiento respectivamente. Se tomó la importancia de implementar una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones, después de su ejecución para así lograr mejores resultados en el área de celda de Flotación. Según los reportes de incidencia por fallas e informes de mantenimiento realizado en los meses de agosto y setiembre se llegó a la conclusión:

		Calculo Inspección de Equipos Total Mes de Agosto			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Agosto					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula	
Inspección de Equipos	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos	
Fecha	Equipos Conformes	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
4/08/2019	4	8		50%	
5/08/2019	2	8		25%	
6/08/2019	4	8		50%	
7/08/2019	3	8		38%	
8/08/2019	3	8		38%	
9/08/2019	2	8		25%	
10/08/2019	4	8		50%	
Semana 1	3	24		39%	
11/08/2019	3	8		38%	
12/08/2019	4	8		50%	
13/08/2019	3	8		38%	
14/08/2019	3	8		38%	
15/08/2019	3	8		38%	
16/08/2019	2	8		25%	
17/08/2019	3	8		38%	
Semana 2	3	56		38%	
18/08/2019	4	8		50%	
19/08/2019	3	8		38%	
20/08/2019	3	8		38%	
21/08/2019	4	8		50%	
22/08/2019	3	8		38%	
23/08/2019	2	8		25%	
24/08/2019	3	8		38%	
Semana 3	3	56		39%	
25/08/2019	4	8		50%	
26/08/2019	2	8		25%	
27/08/2019	3	8		38%	
28/08/2019	3	8		38%	
29/08/2019	3	8		38%	
30/08/2019	2	8		25%	
31/08/2019	4	8		50%	
Semana 4	3	56		38%	

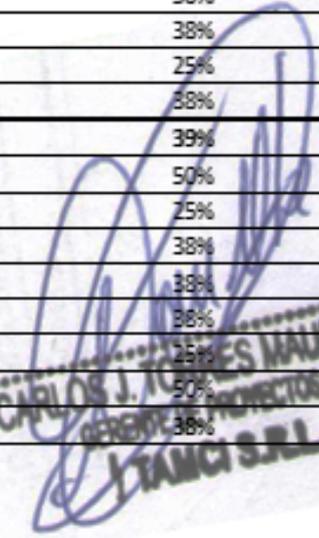
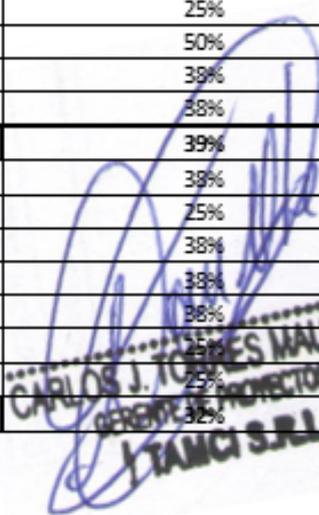

 CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 25. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – inspección de agosto

		Calculo Inspección de Equipos Total Mes de Setiembre			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Setiembre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Tecnica	Instrumento	Formula	
Inspección de Equipos	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos	
Fecha	Equipos Conformes	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
1/09/2019	3	8		38%	
2/09/2019	3	8		38%	
3/09/2019	4	8		50%	
4/09/2019	3	8		38%	
5/09/2019	3	8		38%	
6/09/2019	3	8		38%	
7/09/2019	4	8		50%	
Semana 5	3	56		41%	
8/09/2019	3	8		38%	
9/09/2019	2	8		25%	
10/09/2019	3	8		38%	
11/09/2019	3	8		38%	
12/09/2019	4	8		50%	
13/09/2019	3	8		38%	
14/09/2019	3	8		38%	
Semana 6	3	56		38%	
15/09/2019	3	8		38%	
16/09/2019	3	8		38%	
17/09/2019	4	8		50%	
18/09/2019	2	8		25%	
19/09/2019	4	8		50%	
20/09/2019	3	8		38%	
21/09/2019	3	8		38%	
Semana 7	3	56		39%	
22/09/2019	3	8		38%	
23/09/2019	2	8		25%	
24/09/2019	3	8		38%	
25/09/2019	3	8		38%	
26/09/2019	3	8		38%	
27/09/2019	2	8		25%	
28/09/2019	2	8		25%	
Semana 8	3	56		32%	



CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 26. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – inspección de setiembre

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Equipos Conformes	Total de Equipos	Inspección de Equipos
Agosto	SEMANA 1	3	8	39%
	SEMANA 2	3	8	38%
	SEMANA 3	3	8	39%
	SEMANA 4	3	8	38%
Setiembre	SEMANA 5	3	8	41%
	SEMANA 6	3	8	38%
	SEMANA 7	3	8	39%
	SEMANA 8	3	8	32%
Promedio				38%
INSPECCIÓN GENERAL		$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos		

Figura 27. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Pre-Test

		Calculo Implementación de Mantenimiento Mes de Agosto			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Agosto					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula	
Implementación	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$\text{Implementación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de máquinas a predictivo}}{\text{total de máquinas}} \times 100$	
Fecha	Nº de Maquinas mantenimiento	Total de Equipos		Implementación	
4/08/2019	2	8		25%	
5/08/2019	1	8		13%	
6/08/2019	2	8		25%	
7/08/2019	1	8		13%	
8/08/2019	1	8		13%	
9/08/2019	2	8		25%	
10/08/2019	1	8		13%	
Semana 1	1	8		18%	
11/08/2019	2	8		25%	
12/08/2019	2	8		25%	
13/08/2019	1	8		13%	
14/08/2019	2	8		25%	
15/08/2019	1	8		13%	
16/08/2019	1	8		13%	
17/08/2019	2	8		25%	
Semana 2	2	8		20%	
18/08/2019	2	8		25%	
19/08/2019	1	8		13%	
20/08/2019	2	8		25%	
21/08/2019	1	8		13%	
22/08/2019	1	8		13%	
23/08/2019	2	8		25%	
24/08/2019	1	8		13%	
Semana 3	1	8		18%	
25/08/2019	2	8		25%	
26/08/2019	1	8		13%	
27/08/2019	2	8		25%	
28/08/2019	3	8		38%	
29/08/2019	1	8		13%	
30/08/2019	1	8		13%	
31/08/2019	1	8		13%	
Semana 4	2	8		20%	

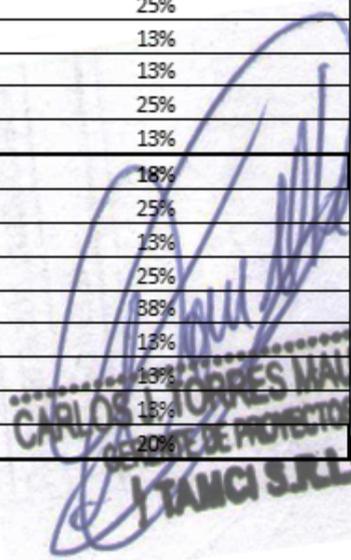

 CARLOS TORRES MAURATE
 JEFE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 28. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – implementación de agosto

		Calculo Implementación de Mantenimiento Mes de Setiembre			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Setiembre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula	
Implementación	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$\text{Implementación} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$	
Fecha	Nº de Maquinas Predic.	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
1/09/2019	1	8		13%	
2/09/2019	2	8		25%	
3/09/2019	2	8		25%	
4/09/2019	1	8		13%	
5/09/2019	1	8		13%	
6/09/2019	3	8		38%	
7/09/2019	1	8		13%	
Semana 5	2	8		20%	
8/09/2019	2	8		25%	
9/09/2019	1	8		13%	
10/09/2019	2	8		25%	
11/09/2019	1	8		13%	
12/09/2019	2	8		25%	
13/09/2019	1	8		13%	
14/09/2019	1	8		13%	
Semana 6	1	8		18%	
15/09/2019	1	8		13%	
16/09/2019	2	8		25%	
17/09/2019	1	8		13%	
18/09/2019	2	8		25%	
19/09/2019	1	8		13%	
20/09/2019	2	8		25%	
21/09/2019	2	8		25%	
Semana 7	2	8		20%	
22/09/2019	1	8		13%	
23/09/2019	2	8		25%	
24/09/2019	1	8		13%	
25/09/2019	1	8		13%	
26/09/2019	3	8		38%	
27/09/2019	1	8		13%	
28/09/2019	2	8		25%	
Semana 8	2	8		20%	

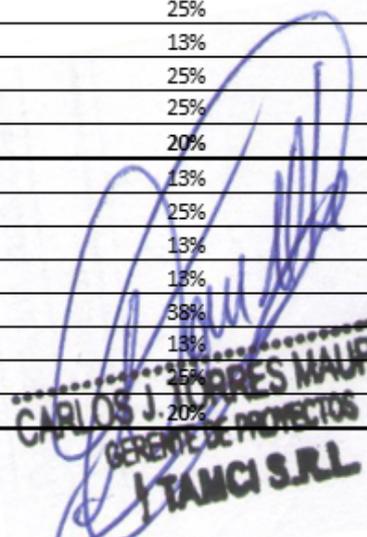

CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 29. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – implementación de setiembre

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº de Maquinas Predictivo	Total de Equipos	
		Implementacion de Equipos		
Agosto	SEMANA 1	1	8	18%
	SEMANA 2	2	8	20%
	SEMANA 3	1	8	18%
	SEMANA 4	2	8	20%
Setiembre	SEMANA 5	2	8	20%
	SEMANA 6	1	8	18%
	SEMANA 7	2	8	20%
	SEMANA 8	2	8	20%
Promedio			19%	
IMPLEMENTACION GENERAL		$\text{Implementación} = \frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$		

Figura 30. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Pre-Test

		Calculo de Monitoreo Mes de Agosto			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Agosto					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula	
Monitoreo	De acuerdo a los tiempos útiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	
Fecha	Nº de Equipos Mon	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
4/08/2019	2	8		25%	
5/08/2019	1	8		13%	
6/08/2019	1	8		13%	
7/08/2019	2	8		25%	
8/08/2019	2	8		25%	
9/08/2019	1	8		13%	
10/08/2019	2	8		25%	
Semana 1	2	8		20%	
11/08/2019	2	8		25%	
12/08/2019	2	8		25%	
13/08/2019	2	8		25%	
14/08/2019	2	8		25%	
15/08/2019	1	8		13%	
16/08/2019	2	8		25%	
17/08/2019	1	8		13%	
Semana 2	2	8		21%	
18/08/2019	2	8		25%	
19/08/2019	2	8		25%	
20/08/2019	1	8		13%	
21/08/2019	2	8		25%	
22/08/2019	2	8		25%	
23/08/2019	1	8		13%	
24/08/2019	2	8		25%	
Semana 3	2	8		21%	
25/08/2019	2	8		25%	
26/08/2019	2	8		25%	
27/08/2019	2	8		25%	
28/08/2019	2	8		25%	
29/08/2019	1	8		13%	
30/08/2019	2	8		25%	
31/08/2019	2	8		25%	
Semana 4	2	8		28%	

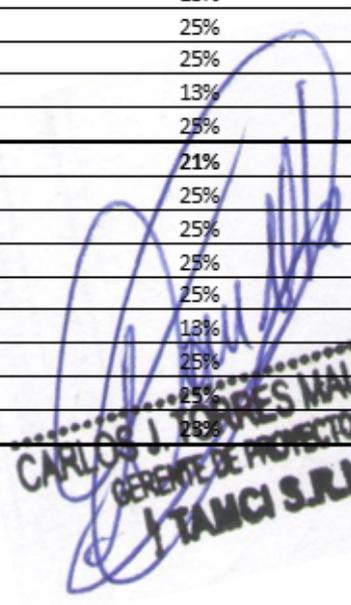
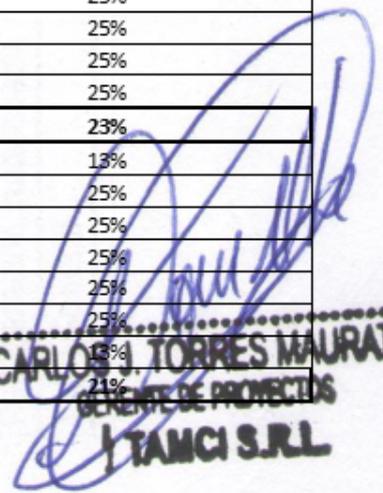

CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 31. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – monitoreo de agosto

		Cálculo de Monitoreo Mes de Setiembre			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Setiembre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Fórmula	
Monitoreo	De acuerdo a los tiempos utilies y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	
Fecha	Nº de Equipos Monitoreo	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
1/09/2019	2	8		25%	
2/09/2019	2	8		25%	
3/09/2019	1	8		13%	
4/09/2019	1	8		13%	
5/09/2019	2	8		25%	
6/09/2019	2	8		25%	
7/09/2019	2	8		25%	
Semana 5	2	8		21%	
8/09/2019	2	8		25%	
9/09/2019	2	8		25%	
10/09/2019	1	8		13%	
11/09/2019	2	8		25%	
12/09/2019	2	8		25%	
13/09/2019	2	8		25%	
14/09/2019	2	8		25%	
Semana 6	2	8		23%	
15/09/2019	2	8		25%	
16/09/2019	1	8		13%	
17/09/2019	2	8		25%	
18/09/2019	2	8		25%	
19/09/2019	2	8		25%	
20/09/2019	2	8		25%	
21/09/2019	2	8		25%	
Semana 7	2	8		23%	
22/09/2019	1	8		13%	
23/09/2019	2	8		25%	
24/09/2019	2	8		25%	
25/09/2019	2	8		25%	
26/09/2019	2	8		25%	
27/09/2019	2	8		25%	
28/09/2019	1	8		13%	
Semana 8	2	8		21%	



CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
TAMCI S.R.L.

Figura 32. Ficha detallada de recolección de datos Pre-Test – monitoreo de setiembre

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº de Equipos Monitoreado	Total de Equipos	Monitoreo de Equipos
Agosto	SEMANA 1	2	8	20%
	SEMANA 2	2	8	21%
	SEMANA 3	2	8	21%
	SEMANA 4	2	8	23%
Setiembre	SEMANA 5	2	8	21%
	SEMANA 6	2	8	23%
	SEMANA 7	2	8	23%
	SEMANA 8	2	8	21%
Promedio				22%
MONITOREO GENERAL		$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$		

Figura 33. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Pre-Test

TIPO DE FALLAS	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		TOTAL FALLAS
	FALLAS	HORAS															
SISTEMA MECANICO	1	5.3	2	10.1	2	10.1	2	8.4	2	9.5	2	9.7	2	5.2	2	9.6	15
Desequilibrio entre Fases					1	5.2					1	4.3					
Fallo de Aislamiento	1	5.3							1	4.3					1	5.3	
Terminal Defectuoso			1	4.3			1	4.5					1	5.2			
Fuga de Aceite					1	4.9					1	5.4			1	4.3	
Desgaste Rotor			1	5.8					1	5.2							
Desgaste de Rodajes							1	3.9					1				
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	11	331.7	8	304.4	10	347.4	7	298.4	10	339	10	324.8	9	324	9	344.2	74
Rodamiento en mal Estado			2	58.7	1	36.2	1	35.7	2	68.2	2	61.3	2	68.3	2	66.3	
Desalineamiento de Eje	3	72.2	2	75.3	2	85.3			2	72.5	3	98.1	1	32.2	2	70.2	
Desequilibrio en Rotor	3	84	2	78.3	2	69.4	2	91.8	3	90.1	2	65.3	2	68.2	1	48.2	
Acoplamiento Dañado	3	77	1	58	3	74.1	2	80.6			2	63.5	2	61.1	2	67.2	
Recalentamiento del Motor	2	98.5	1	34.1	2	82.4	2	90.3	3	108.2	1	36.6	2	94.2	2	92.3	
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	1	5.5	1	6.3	1	5.5	2	11.3	2	9.8	0	0	1	5.4	1	5.1	9
Terminal Defectuoso			1	6.3			1	5.9							1	5.1	
Desalineamiento en asiento de válvula	1	5.5			1	5.5			1	4.5			1	5.4			
Desgaste de Empaquetadura							1	5.4	1	5.3							
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	0	0	1	3.5	1	4.5	0	0	1	0	1	2	1	4.6	2	6.6	7
Cabeza de Piston Dañados			1	3.5					1				1	4.6	1	4.6	
Refrigeración Inadecuado					1	4.5					1	2			1	2	
Total General	13	342.5	12	324.3	14	367.5	11	318.1	15	358.3	13	336.5	13	339.2	14	365.5	105


 CARLOS J. TORRES MAURATE
 JEFE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 34. Cronograma de fallas Pre_Tes

Confiabilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMC
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Confiabilidad Total	
Agosto	SEMANA 1	343	13	103	26	79.69%
	SEMANA 2	324	12	112	27	80.56%
	SEMANA 3	368	14	96	26	78.53%
	SEMANA 4	318	11	122	29	80.86%
Setiembre	SEMANA 5	358	15	90	24	78.95%
	SEMANA 6	337	13	103	26	79.98%
	SEMANA 7	339	13	103	26	79.87%
	SEMANA 8	366	14	96	26	78.62%
Promedio						79.6%
CONFIABILIDAD		$C = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ C: Confiabilidad MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar				

Figura 35. Ficha de recolección de datos Pre-Test - confiabilidad

Disponibilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMC
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Disponibilidad Total	
Agosto	SEMANA 1	343	13	103.4	26.3	74.52%
	SEMANA 2	324	12	112.0	27.0	75.87%
	SEMANA 3	368	14	96.0	26.3	72.66%
	SEMANA 4	318	11	122.2	28.9	76.33%
Setiembre	SEMANA 5	358	15	89.6	23.9	73.34%
	SEMANA 6	337	13	103.4	25.9	74.96%
	SEMANA 7	339	13	103.4	26.1	74.76%
	SEMANA 8	366	14	96.0	26.1	72.81%
Promedio						74.4%
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ MTBF : Tiempo Medio entre Fallas				
MTRR		$MTRR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ MTRR : Tiempo Medio para Reparar				
DISPONIBILIDAD		$D_{Averia} = \frac{MTBF - MTRR}{MTBF}$ MTBF : Tiempo Medio entre Fallas MTRR : Tiempo Medio para Reparar				

Figura 36. Ficha de recolección de datos Pre-Test – disponibilidad

Tiempo medio entre fallas

ANTAPACCA Y		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMC?
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	
Agosto	SEMANA 1	342.5	13	103	
	SEMANA 2	324.3	12	112	
	SEMANA 3	367.5	14	96	
	SEMANA 4	318.1	11	122	
Setiembre	SEMANA 5	358.3	15	90	
	SEMANA 6	336.5	13	103	
	SEMANA 7	339.2	13	103	
	SEMANA 8	365.5	14	96	
Promedio					103.24
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ MTBF : Tiempo Medio entre Fallas			

Figura 37. Ficha de recolección de datos Pre-Test –MTBF

Tiempo medio para reparación

ANTAPACCA Y		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMC?
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	
Agosto	SEMANA 1	343	13	26.3	
	SEMANA 2	324	12	27.0	
	SEMANA 3	368	14	26.3	
	SEMANA 4	318	11	28.9	
Setiembre	SEMANA 5	358	15	23.9	
	SEMANA 6	337	13	25.9	
	SEMANA 7	339	13	26.1	
	SEMANA 8	366	14	26.1	
Promedio					26.3
MTRR		$MTRR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ MTRR : Tiempo Medio para Reparar			

Figura 38. Ficha de recolección de datos Pre-Test – MTRR

2.8.3 Implementación de metodología

Con el objetivo de Mejorar la disponibilidad de los equipos de Flotación en el área de celdas de Flotación la empresa TAMCI SRL, implementará una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones, diagnosticando y pronosticando las diferentes fallas imprevistas que se convierten en el mayor problema ocasionando paro en la producción, como consecuencia de esto, se utilizara Técnicas y Metodologías propias, por ello se necesita realizar una estrategia de mantenimiento, la empresa adquiere el conocimiento basado a las fases, se inicia con la utilización de datos técnicos e instrumentos de medición para luego continuar con el monitoreo de equipos para diferenciar el antes y el después de la falla. A continuación, se empieza a implementar las 7 fases de mantenimiento basado en condiciones.

Así mismo, se muestra el cronograma de actividades de la aplicación de un Mantenimiento Basado en Condiciones en 16 semanas, se detalla cada proceso a realizar como se muestra en la siguiente tabla:

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LA APLICACIÓN MANTENIMIENTO PLANIFICADO- 2018																
Actividades	Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre			
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16
Diagnóstico de la situación actual	■	■														
Análisis e impacto del problema			■	■												
Presentación del proyecto a gerencia					■											
Propuesta de mejora la aplicación del mantenimiento planificado						■	■									
Aplicación CBM								■	■							
Desarrollo de la aplicación del mantenimiento planificado										■	■	■				
Evolución y medición de la mejora													■	■	■	
Establecer mecanismos de control para la estandarización																■

Figura 39. Cronograma de actividades

El compromiso de los supervisores y los técnicos de mantenimiento son esenciales para desarrollar el mantenimiento predictivo así lograr la calidad de las tareas de mantenimiento para garantizar la efectividad y calidad de las reparaciones realizadas. Un programa de monitoreo se puede iniciar con una frecuencia semanal y conforme se vayan corrigiendo las anomalías en los equipos se puede ir prolongando la frecuencia de monitoreo.

Se utilizará técnicas y metodologías propias, por ello se necesita realizar una estrategia de mantenimiento, la empresa adquiere el conocimiento basado a las fases, se inicia con la utilización de datos técnicos e instrumentos de medición para luego continuar con el monitoreo de equipos para diferenciar el antes y el después de la falla. A continuación, se empieza a implementar las 7 fases de mantenimiento basado en condiciones.

Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos de inspección. Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional.

Las tecnologías predictivas son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la maquinaria a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración, entre otras. En los programas de mantenimiento basados en condición, se utilizan distintas herramientas predictivas que permiten inspeccionar aspectos claves, sobre los activos físicos industriales.

Fase 0: Registro y codificación de equipos

Registro

En primer lugar, para realizar un análisis de fallo se plantea elaborar un inventario ordenado de los equipos, existe unas diferencias entre una simple lista de datos con una lista de información elaborada, esta última presenta una estructura arbórea (Árbol Jerárquico), en el cual se encuentra un mayor detalle de todos los elementos que conforman la Planta.

ESTRUCTURA ARBOREA



Figura 40. Estructura arbolea

FORMATO FICHA DE REGISTRO
INVENTARIO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACION

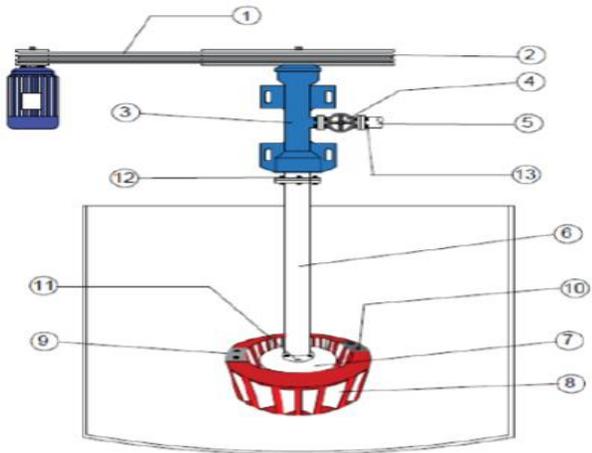
EMPRESA	TAMCI SRL	MARCA:	METSO	
Realizador por:	David Huillca canales / Nancy Suzanibar Maurate	MAQUINA	1 UND	
PLANTA:	Planta Concentradora			
MAQUINA		SISTEMA	ELEMENTO	COMPONENTE
 <p>Catalogo Metso 2012, p 12</p>		Transmision	Motor Eléctrico	Rodamiento
				Estator
				Eje
		Rotor		
		Bobinado		
		Ventilador		
		Polea	Faja en V	
		Eje Principal	Chavetas	
		Mecanismo	Impulsor	
			Difusor	
Standpipe				
Ingreso de Aire	Caja de Descarga	valvula de dardo		
Control de Nivel				
Estructural	Armadura de Standpipe			
	Caja de rodamiento			
	Caja de Alimentacion			
	Caja de Descarga			
	Canaletas de espuma			
	Pasarela			
	Barandas			
Tanque				

Figura 41. Inventario de equipos de celda de flotación

Codificación

El código de área de flotación según la codificación de los equipos las tres primeras letras estará conformado por el área de flotación, los otros dos dígitos siguientes conforman la primera letra del nombre de la máquina y seguido por la primera consonante. Cuando ocurre la existencia que dos nombres de equipos coincidan con la codificación mencionada, se cambia la segunda letra del código de uno de los equipos, por la siguiente consonante del mismo nombre, el último dígito resume un número correlativo asignado a cada máquina para identificar con precisión que máquina es la que ha fallado.

ANTAPACCAY		SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN - ANTAPACCAY					TAMC
FORMATO DE CODIFICACIÓN DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN							
EMPRESA		TAMCI SRL		MARCA:		METSO	
Realizador por:		David Huillca canale / Nancy Suzanibar Maurate			MAQUINAS		24 Unidades
PLANTA:		Planta Concentradora		AREA:		Flotación	
ITEM	DESCRIPCIÓN	AREA DE PRODUCCIÓN	COD	CLASE DE EQUIPO	COD	Nº CONSECUTIVO	CODIGO
1	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	01	FLO-RA-01
2	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	02	FLO-RA-02
3	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	03	FLO-RA-03
4	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	04	FLO-RA-04
5	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	05	FLO-RA-05
6	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	06	FLO-RA-06
7	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	07	FLO-RA-07
8	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	RAPPER	RA	08	FLO-RA-08
9	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	01	FLO-SC-01
10	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	02	FLO-SC-02
11	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	03	FLO-SC-03
12	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	04	FLO-SC-04
13	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	05	FLO-SC-05
14	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	06	FLO-SC-06
15	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	07	FLO-SC-07
16	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	08	FLO-SC-08
17	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	09	FLO-SC-09
18	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	10	FLO-SC-10
19	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	11	FLO-SC-11
20	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	12	FLO-SC-12
21	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	13	FLO-SC-13
22	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	14	FLO-SC-14
23	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	15	FLO-SC-15
24	Celda DE Flotación METSO	FLOTACIÓN	FLO	SCAVENGER	SC	16	FLO-SC-16

Figura 42. Codificación de equipos

Hoja de vida de los equipos de la planta

Para determinar la identificación de un equipo o maquina se hará necesario la hoja de vida del Equipo. La hoja de vida de los equipos permite determinar la identificación de un equipo o máquina, este documento permitirá incluir las características e información del registro de mantenimiento. Además, toda hoja de vida de equipos debe contar con la siguiente información.

HOJA DE VIDA DE MAQUINARIA							
REALIZADO POR:		Huillca Canales /Suzanibar Maurate		Fecha:			
MÁQUINA-EQUIPO	Celda de Flotación	UBICACIÓN	Área de Flotación				
FABRICANTE	METSO	AREA	Flotación				
MODELO	RAPPER	CODIGO INVENTARIO	FLO-RA-01				
MARCA	METSO						
CARACTERISTICAS GENERALES							
PESO	11740 Kg	ALTURA	5200 mm	VOLUMEN	100 m3	Diámetro	5800 mm
CARACTERISTICAS TÉCNICAS				FOTO DE LA MÁQUINA-EQUIPO			
Tanque Caja de Alimentación Caja Intermedia Caja de Descarga Mecanismo de Flotación Impulsor Difusor Motor							
FUNCIÓN Por medio de un agitador de paletas que revuelve la pulpa, luego una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda, forma burbujas que llevan a la superficie partículas de sulfuros de mineral, formando espuma o nata que rebasa las celdas de flotación, esta es recogida para ser espesada o sedimentada, luego filtrada para la obtención del concentrado final							

Figura 43. Hoja de vida de equipos

Fase 1: Listado de funciones y especificaciones.

En esta fase se detalla todas las funciones de los equipos de celda de flotación, para poder identificar las funciones generales, se debe estudiar las instrucciones o estándares que debe cumplir el ítem analizado, un equipo, y subsistema, un sistema, un área o la planta en general. Estas instrucciones se encuentran en los manuales de los equipos, en esta investigación se trabajó con su respectivo manual Celda de Flotación RCS manual del usuario METSO.

La empresa TAMCI no disponía de la documentación detallada, por lo cual se logró obtener información en páginas webs, propias del proveedor. Las especificaciones se requieren para detallar las funciones,

Este formato de funciones y especificaciones, se realizó con la ayuda del Ingeniero encargado de mantenimiento y los técnicos, así mismo se usó el Manual de estos equipos que sirvió de ayuda para clasificar según la arbórea (árbol jerárquico), los sistemas, elementos y componentes.



**FORMATO FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES
INVENTARIO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACION**

EMPRESA TAMCI SRL

Realizador p David Huilca Canales / Nancy Suzanibar Maurate

PLANTA: Planta Concentradora

AREA: Flotación

MARCA: METSO

MAQUINAS 24 Unidades

CODIGO: FLO-RA-01

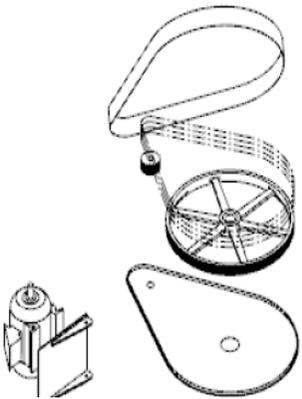
SISTEMA: Transmisión	ELEMENTOS					
	MOTOR		POLEA		EJE PRINCIPAL	
 <p>Catalogo Metso 2012, p 16</p> <p>Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina</p>	Máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía, en energía mecánica capaz de realizar un trabajo		Dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza		Eje principal debe soportar cargas axiales y radiales y funcionar bajo condiciones severas en constante cambio.	
	ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES	
	Marca	WEG	Diámetro polea motriz (mm)	Ø185	Diámetro O.D (mm)	Ø180
	Frame	445/7T	Diámetro polea conducida (mm)	Ø1550	Diámetro I.D (mm)	Ø100
	RPM	1180	Sección	SPB	Material	20 Mn V6
	Potencia (HP)	100	Número de Fajas	8		
	Frecuencia (hz)	60	Tamaño de Faja	SPB-6000		
	Voltaje (V)	460 V				
	COMPONENTE		COMPONENTE		COMPONENTE	
	Eje	Rodamientos	Faja		Chavetas	
Rotor	Estator					
Bobinado	Ventilador					

Figura 44. Formato de funciones específicas sistema de transmisión.

**FORMATO FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES
INVENTARIO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACION**

EMPRESA TAMCI SRL

Realizado David Huillca Canales / Nancy Suzanibar Maurate

PLANTA:

Planta Concentradora

AREA:

Flotación

MARCA: METSO

MAQUINAS 24 Unidades

CODIGO: FLO-RA-01

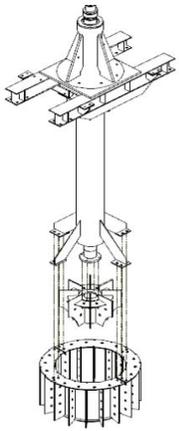
ELEMENTOS							
SISTEMA: De Mecanismo		IMPULSOR		DIFUSOR		EJE PRINCIPAL	
 <p>Catalogo Metso 2012, p 16</p>		Dispositivo rotatorio con aspas el cual bombea la pulpa y, al mismo tiempo, revuelve el aire en la pulpa		Dispositivo estacionario del mecanismo de flotación DV, el cual rodea el impulsor rotante. Esto ayuda en la dispersión del aire en la flotación de la pulpa. También llamado como estabilizador o estator		Eje principal debe soportar cargas axiales y radiales y funcionar bajo condiciones severas en constante cambio.	
		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES	
		Velocidad RPM	113	Diámetro OD (mm)	Ø1710	Diámetro O.D (mm)	Ø180
		Diámetro OD (mm)	1090	Material del Alma	ASTM A-36	Diámetro I.D (mm)	Ø100
		Numero de Alabes	8	Material de Recubrimiento	Poliuretano	Material	20 Mn V6
		Material del Alma	ASTM A -36				
		Material de Recubrimiento	Poliuretano				
		Dirección de Rotación	CW/ CCW				
ELEMENTO							
STANDPIPE		ESPECIFICACIONES					
Una junta rotativa es instalada en el extremo superior del eje para admitir el ingreso de aire hacia el impulsor.		Soporte estacionario para el conjunto del difusor		Diámetro (mm)	Tubo NPS14 SCH30		
				Material	ASTM A-53 GR.B		

Figura 45. Formato de funciones específicas sistema mecánico.

**FORMATO FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES
INVENTARIO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACION**

EMPRESA TAMCI SRL

Realizador por: David Huillca Canales / Nancy Suzanibar Maurate

PLANTA: Planta Concentradora

AREA: Flotación

MARCA: METSO

MAQUINAS 24 Unidades

CODIGO: FLO-RA-01

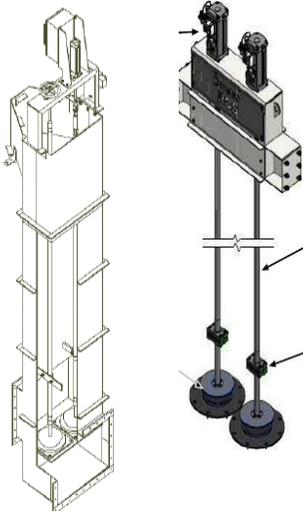
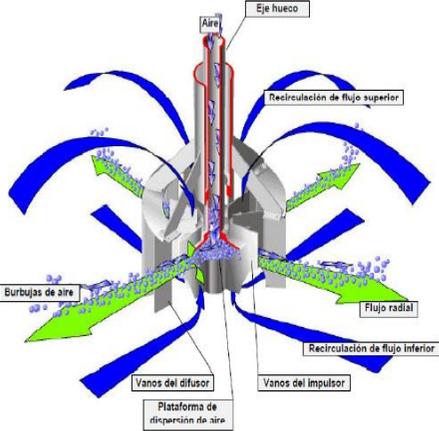
SISTEMA: Control de Nivel	FUNCIÓN	SISTEMA: De Ingreso de Aire														
 <p>Catálogo metso 2012, p 6</p>	<p>El nivel de pulpa en la celda de flotación está regulado por dos válvulas de dardo instaladas en las cajas intermedia y de descarga, una de las válvulas</p> <table border="1" data-bbox="665 831 1144 1200"> <thead> <tr> <th>ELEMENTOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pocisionador</td> </tr> <tr> <td>Controlador</td> </tr> <tr> <td>Sensor ultrasonido</td> </tr> <tr> <td>Cilindro Neumático</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	ELEMENTOS	Pocisionador	Controlador	Sensor ultrasonido	Cilindro Neumático				 <p>Catálogo Metso 2012, p 6</p>	<p>El sistema de control de flujo de aire consiste en una operación manual de una válvula de globo y una manguera flexible larga para conectarse a la red de suministro.</p> <table border="1" data-bbox="1644 831 2056 1200"> <thead> <tr> <th>ELEMENTOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <th>ESPECIFICACIONES</th> </tr> <tr> <td>Requerimiento de aire Volumen m3/min (por celda) y una presión Kpa (junta Rotativa)</td> </tr> </tbody> </table>	ELEMENTOS			ESPECIFICACIONES	Requerimiento de aire Volumen m3/min (por celda) y una presión Kpa (junta Rotativa)
ELEMENTOS																
Pocisionador																
Controlador																
Sensor ultrasonido																
Cilindro Neumático																
ELEMENTOS																
ESPECIFICACIONES																
Requerimiento de aire Volumen m3/min (por celda) y una presión Kpa (junta Rotativa)																

Figura 46. Formato de funciones específicas sistema mecánico

FORMATO FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES
INVENTARIO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACION

EMPRESA: TAMCI SRL

Realizador por: David Huillca Canales / Nancy Suzanibar Maurate

PLANTA: Planta Concentradora

AREA: Flotación

MARCA: METSO

MAQUINAS: 24 Unidades

CODIGO: FLO-RA-01

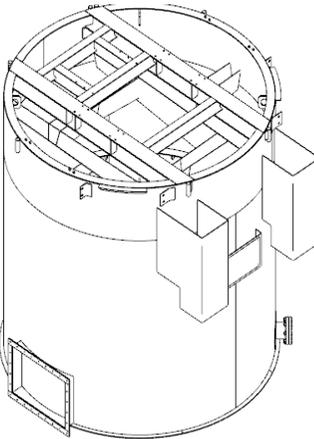
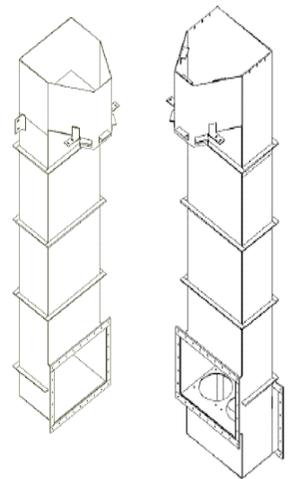
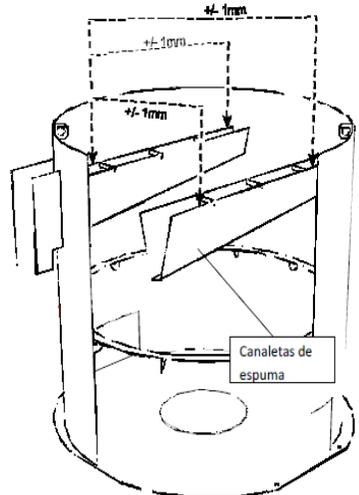
SISTEMA: Estructural			
 <p>Catalogo Metso 2012, p 8</p>	 <p>Catalogo Metso 2012, p 7</p>	 <p>Catalogo Metso 2012, p 8</p>	<p>El sistema de control de flujo de aire consiste en una operación manual de una válvula de globo y una manguera flexible larga para conectarse a la red de suministro.</p> <p>ELEMENTOS</p> <p>Tanque (mm)</p> <p>Caja de Alimentación (mm)</p> <p>Caja Intermedia (mm)</p> <p>Caja de Descarga (mm)</p> <p>Canaletas de Espuma (mm)</p> <p> </p> <p> </p> <p> </p>

Figura 47. Formato de funciones específicas sistema mecánico

Otros datos técnicos

Tabla 11. Datos de lubricación

Nombre de ensamble	Partes lubricadas	Método aplicado	Lubricantes recomendados	N° de puntos de lub.	Carga inicial	Consumo cantidad/tiempo	Tiempo de reemplazo	Comentarios
Mecanismo de Flotación	Caja de rodamientos	Pistola	Shell Alvania EP Grasa 2 (Esso Beacon EP2)	2	250 g	70 g / 800 h		
Mecanismo de Flotación	Unión rotativa	Pistola		1	50 g	20 g / 800 h		
Transmisión por fajas en "V"	Motor Eléctrico	Pistola	Shell Alvania EP Grasa G2 o G3 (Esso Beacon EP2)	2				Ver manual de mantenimiento de motor eléctrico

Catálogo Metso 2012, p 10

Tabla 12. Lista de torques de ajuste

Pernos Grado 2				
Tamaño	Seco		Lubricado	
	[Lb-Pie]	[N-m]	[Lb-Pie]	[N-m]
5/16 - 18 UNC	11	14.9	8	10.9
3/8 - 16 UNC	20	27.2	15	15.0
7/16 - 14 UNC	30	40.1	24	24.0
1/2 - 13 UNC	50	67.9	35	35.0
9/16 - 12 UNC	70	95.0	55	55.0
5/8 - 11 UNC	100	135.8	75	75.0
3/4 - 10 UNC	175	237.6	130	130.0
7/8 - 9 UNC	165	224.0	125	125.0
1 - 8 UNC	250	339.4	190	190.0
1 1/8 - 7 UNC	350	475.2	270	270.0
1 1/4 - 7 UNC	500	678.9	380	380.0
1 3/8 - 6 UNC	660	896.1	490	490.0
1 1/2 - 6 UNC	870	1181.2	650	650.0

Torque de ajuste para pernos Grado 2, Catalogo Metso 2012, p 68

Pernos Grado 8				
Tamaño	Seco		Lubricado	
	[Lb-Pie]	[N-m]	[Lb-Pie]	[N-m]
5/16 - 18 UNC	25	33.9	18	24.4
3/8 - 16 UNC	45	61.1	35	47.5
7/16 - 14 UNC	70	95.0	55	74.7
1/2 - 13 UNC	110	149.4	80	108.6
9/16 - 12 UNC	150	203.7	110	149.4
5/8 - 11 UNC	220	298.7	170	230.8
3/4 - 10 UNC	380	515.9	280	380.2
7/8 - 9 UNC	600	814.6	460	624.5
1 - 8 UNC	900	1221.9	680	923.2
1 1/8 - 7 UNC	1280	1737.9	960	1303.4
1 1/4 - 7 UNC	1820	2471.0	1360	1846.5
1 3/8 - 6 UNC	2380	3231.3	1780	2416.7
1 1/2 - 6 UNC	3160	4290.3	2360	3204.2

Torque de ajuste para pernos Grado 8, Catálogo Metso 2012, p 69

Fase 2: Determinación de fallos funcionales y técnicos

En relación a la detención de fallos se hizo la consulta al manual de mantenimiento de la Celda de flotación, donde se observa las fallas y las acciones que se tomaran en cuenta para solucionar las averías imprevistas. Además, se va a organizar la identificación de fallos Funcionales y Técnicos, considerando las causas posibles de fallos y posteriormente considerando procedimientos para las acciones correctivas.

Tabla 13. Detección de fallos funcionales

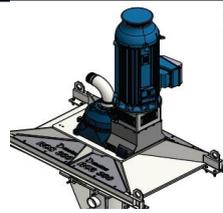
DETECCION DE FALLOS FUNCIONALES			
ITEM	FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION RECOMENDADA
1	Motor se apaga	Eléctrica	Llamar al electricista
		Sobre carga	Revisar alimentación, ponerse en contacto con el responsable de proceso
		Impulsor no gira	Revisar la caja de rodajes Buscar objetos extraños entre el impulsor y el difusor
2	Derrames de pulpa hacia adentro de las canaletas o bajo nivel	Actuadores de válvula de dardo no esta funcionando	Revisar función o reparar
		Control de nivel no está funcionando	Revisar función o reparar
		Válvula/asiento Perdida de aire del instrumento	Revisar aire del instrumento
		Tablero de control fuera de servicio	Llamar al electricista
3		Falta de reactivo	Revisar el sistema de reactivos
4	Poco espuma o la espuma se diluye	Falta de aire	Revisar válvula principal Revisar la función del sistema de control de aire Revisar la función del soplador de aire
DETECCION DE FALLOS TECNICOS			
ITEM	FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCION RECOMENDADA
5	Ruido de motor inusual		Reemplazar el motor Ponerse en contacto con el proveedor
6	Ruido inusual en la transmisión de fajas en "V"	Tensión débil de la correa	Tensionar fajas
7	Ruido inusual en el eje motriz	Falla de rodamientos	Inspeccionar y/o reparar en taller
8	Espuma turbulenta	Impulsor no está rotando	Revisar la transmisión
		Aumento de la velocidad de aireación	Revisar función del sistema de control de aire

Con el fin de evitar las paradas en las maquinas en el área de flotación en la empresa, se emprenden acciones para identificar y jerarquizar las causas posibles, se realizó la recolección de los reportes diarias de los técnicos, de esta manera se lograr registrar todas las causas que existen y lo cual son producto de la observación.

Tabla 14. Reporte de inspección

		REPORTE DE INSPECCION - ANTAPACCA Y								
EMPRESA		TAMCI SRL								
AREA		Celda de Flotación								
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION DE LA FALLA	SUGERENCIA					RESPONSABLE	OBSERVACION	FIRMA
			L U B R I C A R	A J U S T A R	C A M B I A R	M O D I F I C A R	S O L D A R			
1	FLO-SC-01	El motor presenta ruidos extraños			X			Joel Torres Maurate		
2	FLO-RA-03	Presenta desgaste de fajas			X			Joel Torres Maurate		
3	FLO-SC-15	Desajuste de pernos de base de motor		X				Joel Torres Maurate		
4	FLO-RA-08	El motor no gira	X					Joel Torres Maurate	Cambiar motor	
5	FLO-RA-01	La celda presenta vibración excesiva			X			Joel Torres Maurate		
6	FLO-SC-10	Fallo de alimentacion de motor				X		Joel Torres Maurate		
7	FLO-SC-15	Lubricacion excesiva en el eje conductor			X			Joel Torres Maurate		
8	FLO-RA-01	Recalentamiento del motor			X			Joel Torres Maurate	cambiar rodamientos	
9	FLO-RA-04	Desgaste de valvula dardo				X		Joel Torres Maurate	cambiar gomas	
10	FLO-SC-07	Desgaste de cobertor de motor					X	Joel Torres Maurate		

Tabla 15. Fichas técnicas

 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN - ANTAPACCAY 		
FICHA TECNICA DE EQUIPOS		
EMPRESA	TAMCI SRL	MARCA:
Realizado por:	David Huillca canales / Nancy Suzanibar Maurate	
PLANTA:	Planta Concentradora	
MOTOR	ESPECIFICACIONES	
	Marca	WEG
	Frame	445/7T
	RPM	1180
	Potencia (HP)	100
	Frecuencia (hz)	60
	Voltaje (V)	460 V
FUNCION	COMPONENTES	
El motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación	Rodamiento	Ventilador
	Eje	Estator
	Rotor	

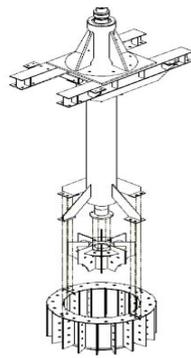
 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN - ANTAPACCAY 				
FICHA TECNICA DE EQUIPOS				
EMPRESA	TAMCI SRL	MARCA		
Realizado por:	David Huillca canales / Nancy Suzanibar Maurate	METSO		
PLANTA:	Planta Concentradora			
COLUMNA PRINCIPAL	ESPECIFICACIONES			
	IMPULSOR	DIFUSOR		
	Dispositivo rotatorio con aspas el cual bombea la pulpa y, al mismo tiempo, revuelve el aire en la pulpa	Dispositivo estacionario del mecanismo de flotación DV, el cual rodea el impulsor rotante. Esto ayuda en la dispersión del aire en la flotación de la pulpa.		
	Velocidad RPM	113	Diámetro OD (mm)	Ø1710
	Diámetro OD (mm)	1090	Material del Alma	ASTM A-36
	Numero de Alabes	8	Material de Recubrimiento	Poliuretano
	Material del Alma	ASTM A -36		
	Material de Recubrimiento	Poliuretano		
	Dirección de Rotación	CW/ CCW		
	Frecuencia (hz)	60		
	Voltaje (V)	460 V		
FUNCION	STANDPIPE	ELEMENTO		
Junta rotativa es instalada en el extremo superior del eje para admitir el ingreso de aire hacia el impulsor.	Soporte estacionario para el conjunto del difusor	Diámetro (mm)	Tubo NPS14 SCH30	
		Material	ASTM A-53 GR.B	

Tabla 17. Ficha de registro de modo de fallos

	SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN - ANTAPACCAY	
---	--	---

**FORMATO FICHA DE REGISTRO
DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLO**

EMPRESA	TAMCI SRL	MARCA:	METSO
Realizador por:	David Huillca Canales / Nancy Suzanibar Maurate	MAQUINAS	24 Unidades
PLANTA:	Planta Concentradora	AREA:	Flotación
		CÓDIGO	FLO-RA-01

COMPONENTE	MOTOR NO GIRA	ALTAS VIBRACIONES	EXCESO DE CONSUMO	
	Modo de Fallo	Modo de Fallo	Modo de Fallo	
	Bobinado roto o quemado	Eje doblado	Termino mal calibrado	
	Cable electrico Defectuoso	Rodamiento en mal Estado	Rodamiento en mal estado	
	Fallo de Alimentación del motor	Desalineamiento de eje	Desequilibrio entre fases	
	Eje Bloqueado por Rodamiento	Desequilibrio en Rotor	Motor caliente por ventilador roto	
		Acoplamientos Dañados		
		Resonancias Magnéticas debido a excentricidades		
		PROTECCIÓN POR CORTOCIRCUITO	PROTECCIÓN POR DERIVACIÓN	RUIDOS EXCESIVOS
		Modo de Fallo	Modo de Fallo	Modo de Fallo
	Terminal Defectuoso	Fallo en el Aislamiento	Eje doblado	
	Elemento de proteccion en mal estado	Puesta tierra en mal estado	Rodamiento en mal estado	
	Bobinado roto o quemado	Fase está en contacto con tierra	Rozamientos entre rotor y estator	
		ALTAS TEMPERATURAS	Rozamiento en el ventilador	
		Modo de Fallo		
		Rodamiento en mal Estado		
		Suciedad excesiva en la carcasa		
	Ventilador Roto			
	Lubricación defectuosa en Rodamientos			

MOTOR

Fase 4: Análisis de la gravedad de los fallos. Criticidad

El paso a seguir para establecer los defectos de cada modo de falla es clasificarlo según la gravedad de las consecuencias, por lo cual el estudio de criticidad analiza y saca a la luz los elementos más vulnerables. Según Márquez (2015) expresó “El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones” (p.42)

El primer paso es definir la función principal y falla funcional de cada equipo y a continuación evaluar la severidad, ocurrencia y detectabilidad correspondiente a cada falla funcional, para determinar el RPN respectivo a cada ítem. Cabe señalar que, para determinar la severidad de cada falla funcional, la norma ISO-14224 identifica las causas de esta falla funcional como mecanismo de falla:

- Falla mecánica
- Falla material
- Falla Instrumentación
- Falla eléctrica
- Influencia externa

Tabla 18. Fallas funcionales de los equipos

FALLA MECÁNICA	
FILTRACIONES	DEFORMACIÓN
VIBRACIONES	SOLTURA
DESALINEAMIENTO	ADHERENCIA

FALLA MATERIAL	
CAVITACIÓN	ROTURA
CORROSIÓN	FATIGA
EROSIÓN	SOBRE CALIENTAMIENTO
DESGASTE	EXPLOSION

FALLA INSTRUMENTACIÓN	
FALLA SIST. CONTROL	NO ENTREGAR SEÑAL
DESCALIBRACIONES	FALLA DE SOFTWARE
SEÑALES ERRONEAS	

FALLA ELECTRICA	
CORTO CIRCUITO	SOBRECARGA ELECTRICA
CIRCUITO ABIERTO	ALIMEN. POTENCIA
FALLA AISLADA Y TIERRA	

INFLUENCIA EXTERNA	
ATASCO	CONTAMINACIÓN
BLOQUEO	IMPACTO EXTERNO

Mecanismo de Fallas según la Norma ISO – 14224:2006

Para cada uno de estos mecanismos de falla se evalúa el índice de severidad según los 5 aspectos a considerar (Pérdida de producción, Seguridad laboral, Medio ambiente, eficiencia de producción y costo del mantenimiento).

Severidad: Se entiende como la seriedad con la cual se presente una falla. El valor del índice de severidad crece en función de:

- Riesgo a la seguridad laboral (RSL)
- Riesgo al medio ambiente (RMA)
- Riesgo al proceso productivo (RPP)
- Riesgo a la disminución de eficiencia (REF)
- Riesgo a los costos de mantenimiento (RCM)

Del mismo modo que la evaluación de severidad (consenso) se califica la ocurrencia y defectibilidad de cada falla funcional.

Tabla 19. Porcentaje asociado a la severidad

PORCENTAJE ASOCIADOS A LA SEVERIDAD	ESCORE (PORCENTAJE)
RIESGO A LA SEGURIDAD LABORAL	20%
RIESGO AL MEDIO AMBIENTE	20%
RIESGO AL PROCESO PRODUCTIVO	30%
RIESGO A LA DISMINUCIÓN DE EFICIENCIA	15%
RIESGO AL COSTO DEL MANTENIMIENTO	15%

Porcentajes asociados a cada factor perteneciente a la severidad.

Tabla 20. Tabla de evaluación de severidad

Tabla de Valorización de la Severidad (S)			
A) RSL (¿Qué nivel de RSL posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	20%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
CATASTROFICO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar daños con carácter catastrófico al personal	10	2,00
CRITICO	2) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al personal	7	1,40
MAYOR	3) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo, pero que no constituye una amenaza seria de daño o para la vida del personal.	5	1,00
MEDIO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable o sin amenazar la integridad y la vida del personal	3	0,60
MENOR	5) Falla Funcional que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para la integridad y la vida del personal	1	0,20

B) RMA (:Qué nivel de RMA posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	20%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
CATASTROFICO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar daños con carácter catastrófico al medio ambiente	10	2,00
CRITICO	2) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al mismo y al medio ambiente	7	1,40
MAYOR	3) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo, pero que no constituye una amenaza seria de daño para el medio ambiente	5	1,00
MEDIO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable y sin amenazar el medio ambiente	3	0,60
MEJOR	5) Falla Funcional que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para el medio ambiente	1	0,20

C) RPP (Que nivel de RPP posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	30%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
MUY ALTO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema con una muy alta probabilidad de causar la detención del proceso productivo	10	3,00
BAJO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable con una baja probabilidad de producir la detención del proceso productivo	5	1,50
NULO	5) Falla funcional que potencialmente podría degradar las funciones del sistema, pero que no causaría daño al mismo. Que constituye una amenaza de carácter nula para la detención del proceso productivo.	1	0,30

D) REF (Que nivel de REF posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	15%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
ALTO	1) La falla funcional pertinente del activo produce altas alteraciones en la Eficiencia de la producción	5	0,75
MODERADO	2) La falla funcional pertinente del activo produce moderadas alteraciones en la Eficiencia de la producción	3	0,45
BAJO	3) La falla funcional pertinente del activo produce bajas alteraciones en la Eficiencia de la producción	2	0,30
NULO	4) La falla funcional pertinente del activo no produce una alteración en la Eficiencia de la producción	1	0,15
N/A	N/A	0	0,00

D) RCM (Que nivel de RCM posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	15%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
Muy Alto	1) El costo esperado de reparación/reemplazo es mayor a US\$ 120.000.	10	1,5
Alto	2) El costo esperado de reparación/reemplazo está entre US\$ 60.000 y US\$ 120.000.	7	1,05
Moderado	3) El costo esperado de reparación/reemplazo está entre US\$ 15.000 y US\$ 60.000. (Equipos Mayores)	5	0,75
Bajo	4) El costo esperado de reparación/reemplazo se encuentra entre US\$ 600 y US\$ 15.000. (Redes - Equipos Menores)	3	0,45
Muy Bajo	5) El costo esperado de reparación/reemplazo es inferior a US\$ 600. (Componentes Menores)	1	0,15

Tabla de evaluación de ocurrencia

Se entiende como la frecuencia con la que se produce una determinada falla, como resultado de una causa específica. Un valor alto indica una frecuencia elevada.

Tabla 21. Evaluación de ocurrencias

TABLA DE EVALUACION DE OCURRENCIA			
ITEMS	DESCRIPCCION	FRECUENCIA	CALIFICACION
A	FRECUENTE	$F > 3$ VECES /AÑO	5
B	PROBABLE	$1 \text{ VEZ/AÑO} < F \leq 3$ VECES /AÑO	4
C	OCACIONAL	1 VEZ /AÑO	3
D	REMOTO	$1 \text{ VEZ} / 3 \text{ AÑOS} \leq F < 1$ VEZ /AÑO	2
E	IMPROBABLE	$F < 1$ VEZ / 3 AÑOS	1

Tabla de evaluación de detectabilidad

En esta etapa el sistema detecta la presencia de una falla. En la medida que las fallas tengan un mayor valor en la escala, el sistema o método tendrá mayor dificultad para alcanzar la detección de falla, estos tres parámetros definidos y evaluados es posible determinar el riesgo asociado a cada falla del proceso, sub-proceso o activo que se analice.

Tabla 22. Tabla evaluación de detectabilidad

items	Probabilidad de que el control detecte la falla.	Calificación
MUY ALTO	1) Probabilidad MUY ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	1
ALTO	2) Probabilidad ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	2
MEDIO	3) Probabilidad MEDIA que el sistema de control detecte la falla funcional	3
BAJO	4) Probabilidad BAJA que el sistema de control detecte la falla funcional	4
NULO	5) Probabilidad NULA que el sistema de control detecte la falla funcional.	5

La consecuencias de las fallas según la categorización sobre sus impacto en la organización, sus componentes, la función principal del mantenimiento es minimizar o eliminar estas consecuencias mediante la utilización de la herramienta del Análisis de Criticidad Funcional, esta técnica consiste en la descripción de lo que ocurre en cada modo de falla para determinar la categoría de consecuencias de fallas ocultas según su modo de falla funcional y sus correspondientes modos de falla se procede a clasificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y las probabilidad temprana de las fallas, con el fin de construir el valor RPN, con el cual se jerarquiza las tareas correctivas, modificativas y proactivas que se debe realizar para radicar o controlar las fallas. Para la presente investigación se realizará el criterio de severidad por Sistemas de los equipos de celda de flotación.

Severidad de los sistemas de la celda de flotación

- Sistema de mecanismo
- Sistema de transmisión
- Sistema de ingreso de aire
- Sistema de control de nivel

Tabla 23. Tabla de severidad

$$\text{Severidad} = RSL + RMA + RPP + REF + RCM$$

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	MECANISMO DE FALLAS	RPP	REF	RCM	REC	RSL	RMA	SEV. MECANISMO DE FALLAS
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina	Recalentamiento del Motor por fallas de los Rodamientos por Excesiva vibración	FALLA MECANICA	1.5	0.75	0.45	0	1	0.2	3.9
			FALLA DE MATERIAL	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.6	2.55
			FALLA DE INSTRUMENTACIÓN	1.5	0.15	0.45	0	1	0.6	3.7
			FALLA ELECTRICA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.6	2.55
			INFLUENCIA EXTERNA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.6	2.55

Resultado de la evaluación de severidad para los diversos mecanismos de falla.

$$\text{Severidad} = RSL + RMA + RPP + REF + RCM$$

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA	MECANISMO DE	RPP	REF	RCM	REC	RSL	RMA	SEV. MECANISMO DE
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	El nivel de pulpa en la celda de flotación está regulado por dos válvulas de dardo instaladas en las cajas intermedia y de descarga, una de las válvulas	Falta de Aire poca espuma o la espuma se diluye	FALLA MECANICA	1.5	0.15	0.1	0	0.1	1	2.85
			FALLA DE MATERIAL	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.2	2.15
			FALLA DE INSTRUMENTACIÓN	1.4	0.1	0.1	0	1	0.2	2.8
			FALLA ELECTRICA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.2	2.15
			INFLUENCIA EXTERNA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.2	2.15

Resultado de la evaluación de severidad para los diversos mecanismos de falla.

$$\text{Severidad} = RSL + RMA + RPP + REF + RCM$$

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA	MECANISMO DE	RPP	REF	RCM	REC	RSL	RMA	SEV. MECANISMO DE
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	El sistema de control de flujo de aire consiste en una operación manual de una válvula de globo y una manguera flexible larga para conectarse a la red de suministro.	Actuadores de válvula de dardo no están funcionando	FALLA MECANICA	1.5	0.15	0.1	0	1.4	1	4.15
			FALLA DE MATERIAL	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.2	2.15
			FALLA DE INSTRUMENTACIÓN	1.5	0.15	0.1	0	1	0.2	2.95
			FALLA ELECTRICA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.2	2.15
			INFLUENCIA EXTERNA	1.5	0.15	0.1	0	1	0.2	2.95

Resultado de la evaluación de severidad para los diversos mecanismos de falla.

$$Severidad = RSL + RMA + RPP + REF + RCM$$

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA	MECANISMO DE	RPP	REF	RCM	REC	RSL	RMA	SEV. MECANISMO DE
SISTEMA DE MECANISMO	Una junta rotativa es instalada en el extremo superior del eje para admitir el ingreso de aire hacia el impulsor.	Fallas de impulsor por el desgaste de los agitadores por corrosión	FALLA MECANICA	1.5	0.45	0.1	0	1.4	1	4.45
			FALLA DE MATERIAL	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.6	2.55
			FALLA DE INSTRUMENTACIÓN	1.5	0.45	0.45	0	1	0.6	4
			FALLA ELECTRICA	1.5	0.45	0.1	0	0.2	0.6	2.85
			INFLUENCIA EXTERNA	1.5	0.15	0.1	0	0.2	0.6	2.55

Evaluación de ocurrencia

Para la evaluación de las ocurrencias es necesario conocer todas las causas, desde las más leves hasta la causa raíz de las diferentes fallas funcionales. El modo de falla explica el hecho de como un proceso puede ser llevado a operar de manera deficiente y está compuesto por tres elementos: causa, efecto y detección. La causa indica la razón por la cual se produjo el error, el efecto es la consecuencia de lo que la falla afecta al cliente; y la detección es la forma utilizada en el control del proceso para evitar las posibles fallas.

Tabla 24. Tabla de evaluación de ocurrencias

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	Probabilidad de falla que el Proceso/Subproceso posee, en un tiempo determinado	OCC
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina	Recalentamiento del Motor por fallas de los Rodamientos por Excesiva vibración	$P_i \geq 0,2$	5
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	El sistema de control de flujo de aire consiste en una operación manual de una válvula de globo y una manguera flexible larga para conectarse a la red de suministro.	Actuadores de válvula de dardo no están funcionando	$P_i \geq 0,2$	3
SISTEMA DE MECANISMO	Una junta rotativa es instalada en el extremo superior del eje para admitir el ingreso de aire hacia el impulsor.	Fallas de impulsor por el desgaste de los agitadores por corrosión	$P_i \geq 0,2$	4
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	El nivel de pulpa en la celda de flotación está regulado por dos válvulas de dardo instaladas en las cajas intermedia y de descarga, una de las válvulas	Falta de Aire poca espuma o la espuma se diluye	$P_i \geq 0,2$	3

Evaluación de detectabilidad

Es la probabilidad de que el sistema detecte la presencia de una falla. A mayor valor en la escala, mayor es la dificultad de que los sistemas o métodos utilizados para la detección, con estos parámetros definidos y evaluados es posible determinar el riesgo relacionado a cada falla del proceso, sub-proceso o activo que se considere.

Se hace necesario mantener la eficiencia del proceso y la reducción de costes, regularmente es más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que destinar recursos a la detección de fallos, asimismo el factor determinante del índice de prioridad del riesgo. Es decir, en el caso que dos situaciones que tuvieran el mismo índice, el factor diferencial que marcaría la prioridad sería la gravedad.

Tabla 25. Tabla de detectabilidad

SISTEMA DEL EQUIPO	FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	¿Cuál es la probabilidad que el sistema de control, detecte la falla funcional?	OCC
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina	Recalentamiento del Motor por fallas de los Rodamientos por Excesiva vibración	Probabilidad ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	2
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	El sistema de control de flujo de aire consiste en una operación manual de una válvula de globo y una manguera flexible larga para conectarse a la red de suministro.	Actuadores de válvula de dardo no están funcionando	Probabilidad MEDIA que el sistema de control detecte la falla funcional	3
SISTEMA DE MECANISMO	Una junta rotativa es instalada en el extremo superior del eje para admitir el ingreso de aire hacia el impulsor.	Fallas de impulsor por el desgaste de los agitadores por corrosión	Probabilidad BAJA que el sistema de control detecte la falla funcional	4
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	El nivel de pulpa en la celda de flotación está regulado por dos válvulas de dardo instaladas en las cajas intermedia y de descarga, una de las válvulas	Falta de Aire poca espuma o la espuma se diluye	Probabilidad BAJA que el sistema de control detecte la falla funcional	4

Resultado de la evaluación de detectabilidad para los diversos mecanismos de falla.

La siguiente tabla nos representa la criticidad de los equipos obteniendo el valor RPN, que significa “numero de riesgo prioritario”. Después de clasificación de la severidad, ocurrencia y detección el valor RPN se puede calcular fácilmente multiplicando estos tres números, donde el valor.

Tabla 26. Tabla de análisis de criticidad funcional

$$\text{RPN} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

RPN MAX	RPN MIN	RANGO
87,00	8	79
RANGO DE CORTE		
	A	>=
87,00		71,2
>	B	>=
71,2		31,7
>	C	>=
31,7		8

A continuación, se detalla una tabla con los diferentes resultados hallados por la severidad, ocurrencias y detectabilidad para determinar el valor del RPN y el grado de criticidad de la máquina de celda de flotación.

Tabla 27. Resultado de tabla de análisis de criticidad funcional

EQUIPO	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTABILIDAD	RPN	CRITICIDAD
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	3.6	5	4	72	A
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	4.15	3	3	37	B
SISTEMA DE MECANISMO	4.45	3	4	53	B
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	2.85	3	4	34	B

Finalmente, se utiliza los rangos de criticidad según el RPN, dentro del universo de equipos existentes de la planta de manejo de carbón. Los rangos de porcentaje a utilizar son:



Figura 48. Rango de criticidad

Resultados de análisis de criticidad funcional

Los resultados del ACF indican que en los sistemas de transmisión de las celdas de Flotación Raffer son sistemas críticos en el área de Flotación. Cabe señalar que los modos de falla de los componentes se han definido de acuerdo a información genérica, información de los propios fabricantes y la experiencia de personal técnico de mantenimiento de la central. Una vez más, como resultado de un consenso la información se ha procesado y sólo se consideran aquellos modos de falla más comunes y críticos. Una vez realizado por completo el estudio y conocidos los “componentes” más críticos del área de flotación es posible definir las diversas estrategias y técnicas de mantenimiento para mitigar y controlar las causas de falla que puedan presentarse.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas

A continuación, se muestra el presupuesto presentado para la implementación del mantenimiento predictivo, se está considerando un equipo base colector de datos para el monitoreo de los equipos rotativos.

Tabla 28. Presupuesto de implementación

PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN						
ITEM	DESCRIPCIÓN	Cargo	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO S/	VALOR TOTAL S/
1	Capacitación Externa Mantenimiento Predictivo	Ing. Mantenimiento	2	unid.	1500	S/ 3,000.00
		técnicos				
2	Capacitación Interna Mantenimiento Predictivo	Ing. Mantenimiento y Seguridad	85	Hrs	8.5	S/ 722.50
		11 Técnicos				
3	Viaticos Tamci	Ing. Mantenimiento	1	und.	1200	S/ 1,200.00
		técnicos				
4	Colector de Vibración Vilver A	Equipo	1	unid.	6600	S/ 6,600.00
5	Termómetro Infrarrojo Industrial Fluke 568	Equipo	1	unid.	1500	S/ 1,500.00
6	colector de datos VIBXPRT	Equipo	1	unid.	1800	S/ 2,800.00
7	Acelerómetro como sensor	Dispositivo	1	unid.	630	S/ 630.00
8	Utiles de Oficina	hoja Bond/ Lapicero/ Cuaderno	1	Paq.	300	S/ 300.00
Totales en Soles						S/ 16,752.50
Totales en Dolares (T.C. 3.38)						S/ 4,956.36

Selección de las herramientas predictivas

Para el registro de base de datos es necesaria una información de análisis de modos y efectos de falla, para ellos es importante la capacitación especializada del personal de mantenimiento en los temas de análisis de vibración y de ultrasonido como uso de una herramienta predictiva. Con el uso de esta herramienta se podrá detectar los diferentes

síntomas del estado de los equipos ya que posee una gran capacidad de descubrir fallas, a su vez tiene la finalidad de reducir los modos de fallas de los equipos de celda de flotación incluidos en el programa.

Del mismo modo, los técnicos de mantenimiento de la empresa Tamci, en las capacitaciones realizadas analizaron que en las inspecciones de lubricantes también se debe modificar en el entorno operacional realizando este tipo de mantenimiento predictivo, en esta investigación no es posible incluirla, pero se realizara otro análisis a mediano plazo.

Como resultado, se seleccionó los dos tipos de herramientas predictivas como el análisis de vibración y de ultrasonido según los resultados del análisis de criticidad, para realizar una capacitación con el personal de mantenimiento de la empresa Tamci, con el objetivo de complementar el diagnostico de las maquinas implementando el monitoreo de la temperatura y actividades preventiva.



Análisis de vibraciones

Consiste en llevar a cabo un conjunto de acciones para la toma de valores de vibraciones en cada uno de los puntos críticos de la celda de flotación, para identificar los factores de ocurrencia de modos de falla. Estas mediciones se llevaron a cabo según a los puntos señalados, para lo cual se empleó como instrumento de medición un colector de datos VIBXPERT y un acelerómetro como sensor. Posteriormente los datos fueron transferidos al software OMNITREND, donde se contrastaron con los parámetros de alarmas globales establecidos en las Normas ISO 10816-3, el cual categoriza cuatro zonas de condiciones de trabajo:

- **Zona A, Color Verde:** Amplitudes máximas para máquinas nuevas que tienen poco tiempo de funcionamiento.
- **Zona B, Color Amarillo:** Holguras máxima para operaciones continuas.
- **Zona C, Color Naranja:** Para condiciones aceptables por un tiempo estimado.
- **Zona D, Color Rojo:** Para vibración excesiva, perjudicial y peligrosa, una falla crítica es inminente.

Además, al tipo de soporte, sea rígido o flexible, se clasifican cuatro grupos de máquinas:

- **Grupo 1:** Máquinas grandes y motores eléctricos con alturas de eje, mayores a 315 mm, generalmente apoyadas en cojinetes planos.
- **Grupo 2:** Máquinas medianas y motores eléctricos con altura de eje entre 160 y 315 mm, generalmente apoyadas en rodamientos y con velocidad de operación superior a 600 RPM.
- **Grupo 3:** Bombas de una o varias etapas con motores externos con potencia superior a 15Kw apoyadas en cojinetes planos o rodamientos.
- **Grupo 4:** Bombas de una o varias etapas, conformado con motores apoyadas en rodamientos o cojinetes planos.

GRUPOS		GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO 4	
TIPO DE MAQUINA		MOTORES H > 315 MM		MOTORES 160 MM < H < 315 MM		DRIVER EXTERNO		DRIVER INTEGRADO	
		MAQUINAS GRANDES 300 Kw a 50 Mw		MAQUINAS MEDIANAS 15 Kw a 300 Kw		BOMBAS MAYORES A 15 Kw FLUJO AXIAL, RADIAL Y MISTO			
FUNDACION		FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA
MM/SEG	PULG/SEG								
0,71	0,03		ZONA A						
1,40	0,06								
2,30	0,09								
2,80	0,11								
3,50	0,14		ZONA B						
4,50	0,18								
7,10	0,28				ZONA C				
11,0	0,43								
					ZONA D				

LEYENDA	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
		MAQUINAS NUEVAS	OPERACION CONTINUA SEGURA	OPERACION POR TIEMPO LIMITADO

Figura 49. Estándar ISO 10816

Ultrasonido

Para una inspección de los espectros acústicos es necesario tener colector de datos y un software para realizar acústicas de alta frecuencia con capacidad de monitorear, recolectar y analizar dichas emisiones generadas por la fricción entre los diferentes componentes de los equipos como sus componentes, uno de ellos es el rodamiento, acoples, engranajes, etc. Relacionado con las partes móviles, desgastes y problemas con la lubricación.

Además, como no se tiene una norma aceptada de criterios de emisiones acústicas establecidas de alta frecuencia, menos con una bases de datos históricos para estar al tanto de los decibeles (db) formados por los equipos sin desgaste algún y a su vez de comparar los aspectos acusativos evaluados durante la inspección con referencia para poder identificar y diagnosticar algún tipo de falla, basado a las experiencias del personal calificado y con referencia a las recomendaciones de los fabricantes se tomaron las siguientes consideraciones.

- Como referencia a un rango de trabajo de los rodamientos su nivel de emisión de ultrasonido consta entre 3 y 4 decibeles por milivoltio (dBmV), pero es rango normal de su operación es de (5) dBmV, lo recomendado.
- Un aumento de 8 a 10 dBmV sobre la línea base, mostraba necesidad de lubricación.
- Se constituyó una línea de per-alarma a los 15 dBmV y un nivel de alarma templado a los 25 dBmV. Un conocimiento sonoro por encima de los 40 dBmV, simbolizó un estado crítico en cuanto a emisiones acústicas.
- En los equipos donde el ambiente operacional lo consintiera, se manipularon unos audífonos especiales, enlazados al captador de espectros, para oír la señal ultrasónica y lograr datos cualitativos, para ordenar con los niveles de sonoridad.
- Un sonido ruidoso con un tono alto, indicó falta de lubricación, sobrecarga o velocidad rotacional por encima de lo especificado.
- Sonidos crujientes, con lecturas inestables y altos niveles de dBmV, fue asociado a desgastes en los rodamientos o partículas metálicas sueltas en el lubricante.

Monitoreo de temperatura

Se utilizo esta herramienta para diagnosticar anomalías relacionadas con los modos de falla de los equipos rotativos, se toma como base la variable de temperatura, en condiciones de operación normal es muy estable, sin embargo, cuando existen parámetros elevados de temperatura, junto a niveles de vibraciones y espectros ultrasónicos, representan síntomas de problemas, regularmente debido a alta fricción de los elementos móviles, falta de lubricación y limpieza.

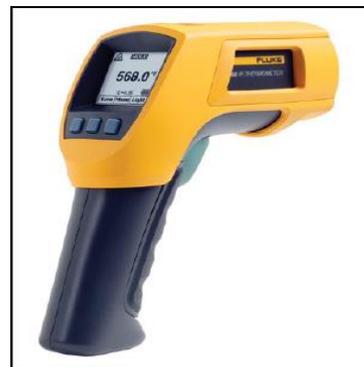
Inspección visual

Las Inspecciones Visuales contribuyeron a la selección de las herramientas predictivas, porque permite esclarecer problemas con respecto al estado físico del funcionamiento de instrumentos asociados a los activos; fugas de fluidos manejados, niveles de lubricantes y refrigerantes; existencia de condiciones inseguras para el personal de campo, inspección o mantenimiento y riesgos para el ambiente.

Equipos a usar



Fuente: Manual Viber - A



Fuente: Manual termómetro Fluke



Fuente: Manual VIBXPRT

Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas

Para realizar un plan de mantenimiento es necesario escoger un tipo de herramienta predictiva a usar por ello, se continúa una serie de procedimientos como plantear, diseñar y estructurar una serie de aspectos claves que poseen dicha técnica, por esta razón es necesario recolectar una serie de datos históricos para analizarlo, estos aspectos serán necesarios para diagnosticar las fallas acertadas de los equipos. A continuación, se mencionan y explican cada uno de ellos:

Capacitación al personal

Se realizó la capacitación del personal del área de mantenimiento acerca de la aplicación de la nueva metodología a lineado a las actividades del mantenimiento predictivo, así mismo la jefatura de mantenimiento asume el compromiso y la responsabilidad de ser participe en la nueva aplicación del mantenimiento Basado en Condiciones, los resultados obtenidos dependerán de todos los involucrados de esta organización.

Los técnicos y operadores de los equipos sugirieron que se debe realizar más capacitaciones para el bien de la productividad.



Puntos de inspección del sistema de transmisión

Los puntos de monitoreo se situaron más próximos a los apoyos de las máquinas, en su lado libre como en su lado ensamblado, es en estos puntos donde se presenta o genera mayor intensidad de los síntomas de los modos de falla. En los lados ensamblados, se controlaron mediciones radiales (verticales y horizontales); y axiales. En los lados libres, se establecieron solamente puntos de medición en sentido radial, debido a que las

fuerzas axiales generadas en estos lugares son normalmente bajas. Para clasificar los sentidos de medición, se utilizaron sus letras iniciales como referencia; la letra “V” para las mediciones en sentido vertical, H para las horizontales y la letra A para mediciones en sentido axial.

La inspección de los equipos es fundamental y ubicar e identificar los puntos de los equipos se distribuyó en dos grupos, los conductores que generan la potencia y la revoluciones por minuto de motores eléctricos, estos cumplen funciones específicas acoplados a los conductores y ser conducidos.

Para ello, se determina dos números (1 y 2) los cuales se representa por los lados libres conectados respectivamente a los equipos conductores, por otro lado, para los conducidos se utilizará los números 3 y 4 para marcar sus lados acoplados y libres proporcionalmente. En la figura 36. Se muestra el esquema representativo de las máquinas con sus respectivos puntos.

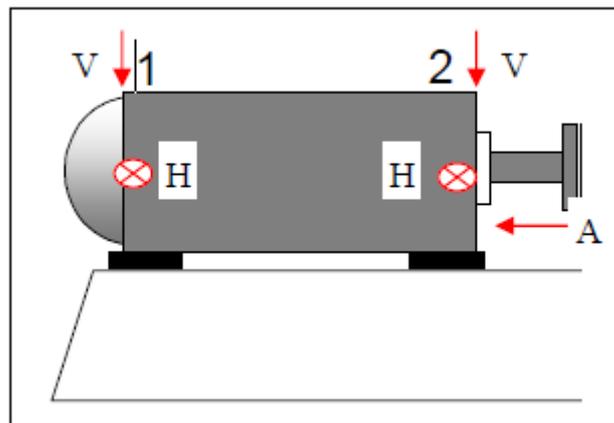


Figura 50. Esquema de los puntos de inspección

Puntos de inspección

1H: Lado libre horizontal

1V: Lado libre vertical

2A: Lado acoplado axial

2H: Lado acoplado horizontal

2V: Lado acoplado vertical



Rutas de muestreo

Posteriormente de identificar los lugares o puntos de medición, se distribuyó los equipos equitativamente en cuatro rutas de muestreo, cada uno con el mismo número de elementos. Esta distribución se realizó tomando como base la proximidad de ubicación de los equipos bajo el mismo, con el fin de agilizar el registro de los datos, esto permitió que el proceso se llevara a cabo de una forma más rápida y eficaz. A continuación, se presentan las rutas de muestreo anteriormente indicadas.

ANTAPACCAY		SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CELDA DE FLOTACIÓN ANTAPACCAY		TAMCI	
RUTAS DE MUSTREO					
EMPRESA	TAMCI SRL			MARCA:	METSO
Realizador por:	David Huillca Canales / Nancy Suzanibar Maurate			MAQUINAS	24 Unidades
PLANTA:	Planta Concentradora		AREA:	Flotación	
ORDEN	RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3	RUTA 4	
1	FLO-RA-01	FLO-RA-02	FLO-RA-05	FLO-RA-06	
2	FLO-RA-03	FLO-RA-04	FLO-RA-07	FLO-RA-08	

Figura 51. Rutas de muestreo

Frecuencia de inspección

Para aplicar el Mantenimiento Basado en Condiciones en la empresa Tamci SRL. Es necesario que la frecuencia este en un lapso de tiempo en medio de las inspecciones, esto se deba a que la empresa no cuenta con una base de datos históricos de las diferentes fallas de los equipos de la celda de flotación, que faciliten medir estas fallas, por esta razón se estableció una frecuencia mensual, con el apoyo del departamento de mantenimiento de la empresa minera Antapaccay y del personal calificado de Tamci

cumplirán con el programa del mantenimiento basado en condiciones en sus equipos de la celdas de flotación. Por otra parte, se puede modificar la frecuencia ya que está sujeta a un programa diseñado a lo largo de las inspecciones según a su función mostradas en las tendencias.

Actividades diarias

En las actividades diarias para recolectar los datos y realizar un análisis de los mismos para mostrar los reportes finales se dispuso cinco días continuos, cada una de estas actividades detalladas representan un procedimiento a alcanzar para una correcta realización del programa de mantenimiento basado en condiciones cumpliendo con las normas de seguridad de la empresa.

Día 1:

- Antes de ingresar a la planta, es necesario contar con los siguientes implementos de seguridad: braga, botas de seguridad, casco con protectores auditivos, lentes protectores y guantes aislantes.
- Solicitud del permiso de trabajo para la inspección de la ruta número 1.
- Cargar la ruta N° 1 en el colector de datos VIBXPERT.
- Realizar la inspección siguiendo el orden establecido en la ruta y recolectar los datos sobre los puntos previamente establecidos.
- Una vez terminada la inspección, es necesario cerrar el permiso de trabajo.
- Descargar los datos recolectados, en el software de mantenimiento predictivo. OMNITREND.
- Análisis de los datos.

Día 2:

- Se sigue la misma secuencia del día 1, sustituyendo la ruta número 1 por la 2.

Día 3:

- Se sigue la misma secuencia del día 1, sustituyendo la ruta número 1 por la 3.

Día 4:

- Se sigue la misma secuencia del día 1, sustituyendo la ruta número 1 por la 4.

Día 5:

- Ejecución de actividades aplazados de los días anteriores (en caso de ser necesario).
- Realizar reiteradamente algunas de las medidas (en caso de ser necesario).

- Terminación del análisis de los datos recolectados durante las inspecciones de los tres días anteriores.
- Preparar el reporte final.

Día 6:

- Finalización y presentación del reporte final.

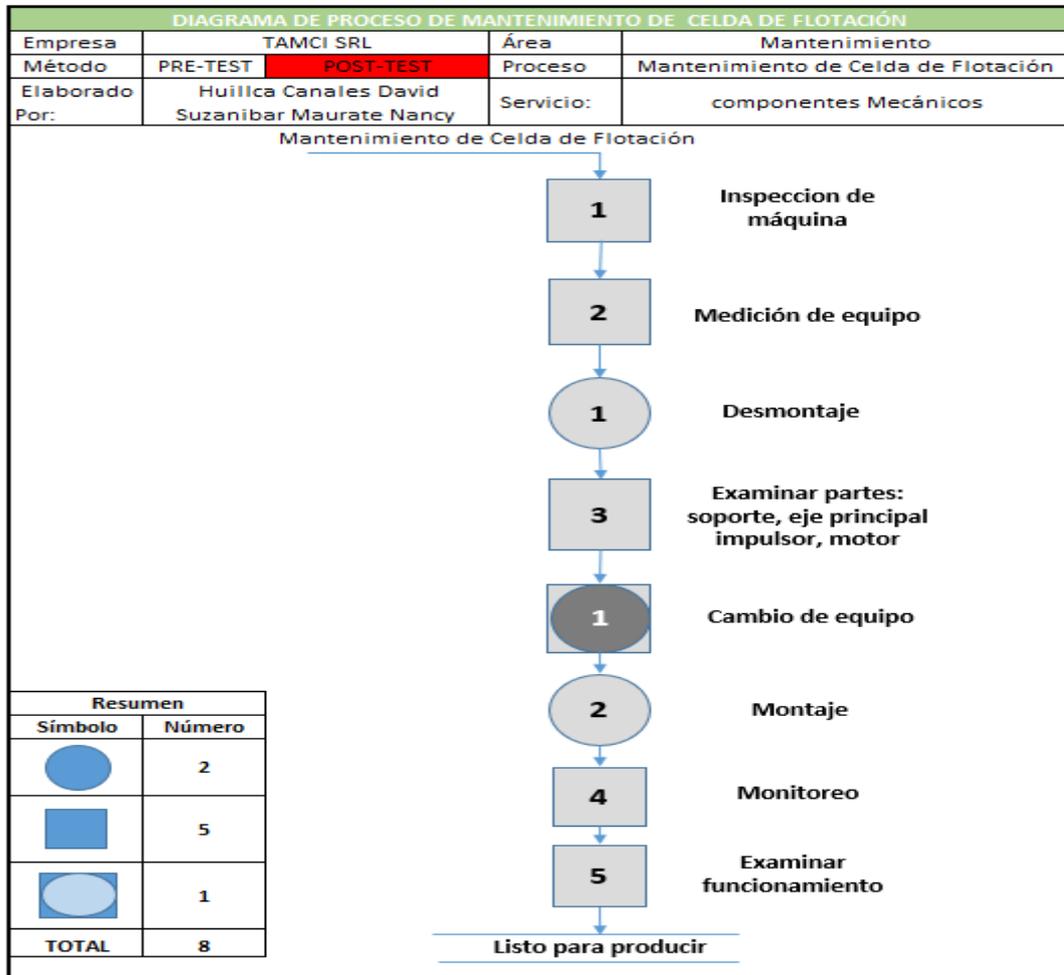


Figura 52. Diagrama de procesos de mantenimiento Post – Test

Programas de inspección mensual

Para obtener el registro de los datos en campo con las herramientas seleccionadas, se planifico un conjunto de actividades a seguir, con la participación de cada uno de los equipos integrantes del programa, para el análisis de criticidad funcional. Estas actividades fueron clasificadas en el orden de ejecución e identificadas en un conjunto de cuadros. Los cuadros contienen las actividades a realizar, además los parámetros aceptables para cada aspecto que lo requiera, el responsable que va a llevar a cabo la actividad y el tiempo considerado para su ejecución, el cual fue determinado por promedios de tiempos de pruebas anteriores.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: FLO-RA-01 CELDA DE FLOTACION			Área: 4100	Ruta: 1	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1	< 55 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2	< 55 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	30
10	Inspeccionar el estado de la correa transmisora	----		Sup. de Mtto	15 seg.
11	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
12	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Figura 53. Programa de inspección mensual

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: FLO-RA-02			Área: 4100	Ruta: 1	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,8 L <Nivel< 1 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Figura 54. Programa de inspección mensual

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas

Reporte final

Luego de analizar todos los datos conseguidos de las inspecciones, se elaboró la presentación del reporte de la situación de las máquinas.

Este reporte presenta un resumen de todas las condiciones de las máquinas y elementos del sistema que fueron monitoreados en cada ruta de inspección. Muestra las condiciones de los equipos respecto a su funcionamiento, además el ambiente donde operan; condiciones de limpieza, orden, seguridad y ambiente; estos representan riesgos que atentan contra el estado del equipo, como para la seguridad del personal de operaciones y mantenimiento.

Las recomendaciones concluidas van orientadas no solo a mitigar los síntomas de las fallas, sino por el contrario, la corrección de las causas de las fallas. A continuación, se representan algunos aspectos presentes el reporte final:

- **Condición Dinámica (D):** Hace alusión a la condición de la máquina, relacionado a niveles de espectros de vibraciones obtenidos.
- **Ruido Ultrasónico (U):** Representa el estado en que opera la maquina referente a los niveles de ruido ultrasónico obtenidos durante el monitoreo.
- **Temperatura (T):** Muestra la condición del equipo frente a la temperatura de funcionamiento.
- **Nivel de Lubricante (N):** Mediante la intervención visual, se contrasta la cantidad en el contenedor de lubricante sea la estándar.
- **Fugas (F):** Este indica si el elemento inspeccionado presenta fuga de fluido, lubricante o refrigerante.
- **Condición Operacional (O):** Representa la condición de que los elementos que participan en el sistema operen satisfactoriamente.
- **Limpieza (L):** Situación física del equipo y su ambiente.
- **SIAHO (S):** Este indica si durante la inspección se observa algún factor que conlleve un riesgo potencial para la seguridad del sistema y ambiente operacional.
- **Estatus Anterior:** Muestra el diagnóstico de la condición del elemento en la intervención anterior.

Implementación del Mantenimiento Basado en Condiciones.



Registro y codificación de equipos



Listado de Funciones y Especificaciones.



Figura 55. Fotos tomadas en el proceso de implementación del mantenimiento basado en condiciones



Determinación de Fallos Funcionales y Técnicos



Determinación de los Modos de Fallo





Análisis de la Gravedad de los Fallos. Criticidad



Determinación de Medidas Preventivas



Obtención del Plan De Mantenimiento y Agrupación de Medidas Preventivas.



Puesta en Marcha de las Medidas Preventivas

ANTAPACCAY		Calculo Inspección de Equipos Total Mes de Octubre			TAMC?
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Octubre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huílca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula	
Inspección de Equipos	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos	
Fecha	Equipos Conformes	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
1/10/2019	6	8		75%	
2/10/2019	7	8		88%	
3/10/2019	6	8		75%	
4/10/2019	7	8		88%	
5/10/2019	6	8		75%	
6/10/2019	6	8		75%	
7/10/2019	7	8		88%	
Semana 9	6	56		80%	
8/10/2019	6	8		75%	
9/10/2019	7	8		88%	
10/10/2019	6	8		75%	
11/10/2019	7	8		88%	
12/10/2019	6	8		75%	
13/10/2019	7	8		88%	
14/10/2019	7	8		88%	
Semana 10	7	56		82%	
15/10/2019	7	8		88%	
16/10/2019	7	8		88%	
17/10/2019	6	8		75%	
18/10/2019	7	8		88%	
19/10/2019	6	8		75%	
20/10/2019	7	8		88%	
21/10/2019	6	8		75%	
Semana 11	7	56		82%	
22/10/2019	7	8		88%	
23/10/2019	6	8		75%	
24/10/2019	8	8		100%	
25/10/2019	6	8		75%	
26/10/2019	7	8		88%	
27/10/2019	6	8		75%	
28/10/2019	7	8		88%	
Semana 12	7	56		84%	

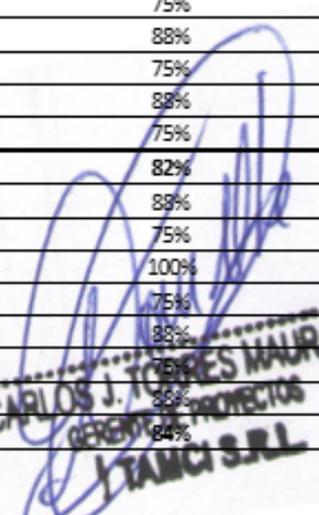

 CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 56. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – inspección de octubre

		Calculo Inspección de Equipos Total Mes de Noviembre			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Noviembre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Tecnica	Instrumento	Formula	
Inspección de Equipos	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos	
Fecha	Equipos Conformes	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
29/10/2019	7	8		88%	
30/10/2019	7	8		88%	
31/10/2019	7	8		88%	
1/11/2019	6	8		75%	
2/11/2019	7	8		88%	
3/11/2019	7	8		88%	
4/11/2019	6	8		75%	
Semana 13	7	56		84%	
5/11/2019	6	8		75%	
6/11/2019	7	8		88%	
7/11/2019	7	8		88%	
8/11/2019	7	8		88%	
9/11/2019	6	8		75%	
10/11/2019	7	8		88%	
11/11/2019	7	8		88%	
Semana 14	7	56		84%	
12/11/2019	8	8		100%	
13/11/2019	7	8		88%	
14/11/2019	7	8		88%	
15/11/2019	6	8		75%	
16/11/2019	7	8		88%	
17/11/2019	6	8		75%	
18/11/2019	7	8		88%	
Semana 15	7	56		86%	
19/11/2019	7	8		88%	
20/11/2019	6	8		75%	
21/11/2019	7	8		88%	
22/11/2019	6	8		75%	
23/11/2019	7	8		88%	
24/11/2019	8	8		100%	
25/11/2019	7	8		88%	
Semana 16	7	56		86%	

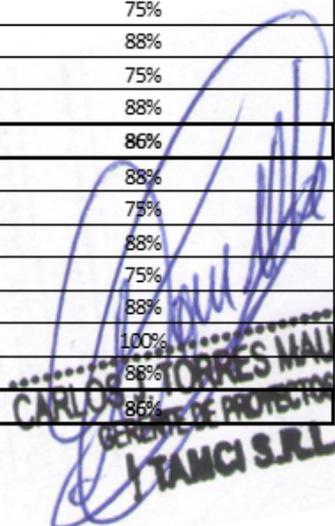

CARLOS TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
TAMCI S.R.L.

Figura 57. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – inspección de noviembre

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Equipos Conformes	Total de Equipos	Inspección de Equipos
Octubre	SEMANA 9	6	8	80%
	SEMANA 10	7	8	82%
	SEMANA 11	7	8	82%
	SEMANA 12	7	8	84%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	84%
	SEMANA 14	7	8	84%
	SEMANA 15	7	8	86%
	SEMANA 16	7	8	86%
Promedio				83%
INSPECCIÓN GENERAL		$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos		

Figura 58. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Post-Test

Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Octubre				
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico
Indicador	Descripción	Técnica	Instrumento	Formula
Implementación	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$Implementación = \frac{N^{\circ} \text{ de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$
Fecha	Maquinas Predictivos	Total de Equipos		Inspección de Equipos
1/10/2019	7	8		88%
2/10/2019	6	8		75%
3/10/2019	7	8		88%
4/10/2019	7	8		88%
5/10/2019	7	8		88%
6/10/2019	7	8		88%
7/10/2019	7	8		88%
Semana 9	7	8		86%
8/10/2019	8	8		100%
9/10/2019	6	8		75%
10/10/2019	6	8		75%
11/10/2019	7	8		88%
12/10/2019	6	8		75%
13/10/2019	8	8		100%
14/10/2019	6	8		75%
Semana 10	7	8		84%
15/10/2019	7	8		88%
16/10/2019	7	8		88%
17/10/2019	6	8		75%
18/10/2019	7	8		88%
19/10/2019	7	8		88%
20/10/2019	6	8		75%
21/10/2019	8	8		100%
Semana 11	7	8		86%
22/10/2019	7	8		88%
23/10/2019	7	8		88%
24/10/2019	6	8		75%
25/10/2019	6	8		75%
26/10/2019	7	8		88%
27/10/2019	7	8		88%
28/10/2019	7	8		88%
Semana 12	7	8		84%

(Handwritten signature and stamp)
CARLOS SUZANIBAR MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 59. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – implementación de octubre

Empresa:		TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por		Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Tecnica	Instrumento	Formula		
Implementación	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$\text{Implementación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$		
Fecha	Nº Maquinas Predic.	Total de Equipos		Inspección de Equipos		
29/10/2019	7	8		88%		
30/10/2019	7	8		88%		
31/10/2019	6	8		75%		
1/11/2019	7	8		88%		
2/11/2019	7	8		88%		
3/11/2019	6	8		75%		
4/11/2019	7	8		88%		
Semana 13	7	8		84%		
5/11/2019	8	8		100%		
6/11/2019	7	8		88%		
7/11/2019	6	8		75%		
8/11/2019	6	8		75%		
9/11/2019	7	8		88%		
10/11/2019	7	8		88%		
11/11/2019	7	8		88%		
Semana 14	7	8		86%		
12/11/2019	8	8		100%		
13/11/2019	7	8		88%		
14/11/2019	7	8		88%		
15/11/2019	7	8		88%		
16/11/2019	6	8		75%		
17/11/2019	7	8		88%		
18/11/2019	6	8		75%		
Semana 15	7	8		86%		
19/11/2019	8	8		100%		
20/11/2019	7	8		88%		
21/11/2019	7	8		88%		
22/11/2019	7	8		88%		
23/11/2019	7	8		88%		
24/11/2019	7	8		88%		
25/11/2019	7	8		88%		
Semana 16	7	8		89%		

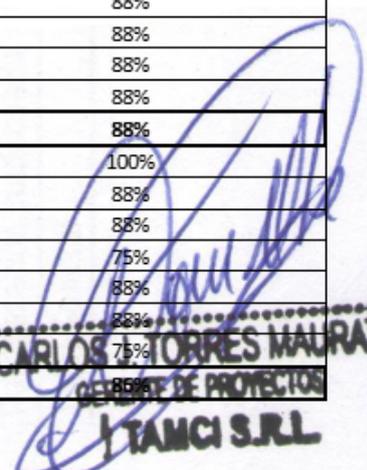
CARLOS TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 60. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – implementación de noviembre

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº Maquinas Predictivas	Total de Equipos	Implementacion de Equipos
Octubre	SEMANA 9	7	8	86%
	SEMANA 10	7	8	84%
	SEMANA 11	7	8	86%
	SEMANA 12	7	8	84%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	84%
	SEMANA 14	7	8	86%
	SEMANA 15	7	8	86%
	SEMANA 16	7	8	89%
Promedio				85%
IMPLEMENTACION GENERAL		$\text{Implementación} = \frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$		

Figura 61. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Post-Test

		Cálculo de Monitoreo Mes de Octubre			
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Octubre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por:	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Tecnica	Instrumento	Formula	
Monitoreo	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	
Fecha	Nº de Equipos Monitoreados	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
1/10/2019	7	8		88%	
2/10/2019	6	8		75%	
3/10/2019	8	8		100%	
4/10/2019	7	8		88%	
5/10/2019	7	8		88%	
6/10/2019	6	8		75%	
7/10/2019	7	8		88%	
Semana 9	7	8		86%	
8/10/2019	8	8		100%	
9/10/2019	7	8		88%	
10/10/2019	6	8		75%	
11/10/2019	7	8		88%	
12/10/2019	6	8		75%	
13/10/2019	7	8		88%	
14/10/2019	7	8		88%	
Semana 10	7	8		86%	
15/10/2019	8	8		100%	
16/10/2019	7	8		88%	
17/10/2019	6	8		75%	
18/10/2019	7	8		88%	
19/10/2019	7	8		88%	
20/10/2019	7	8		88%	
21/10/2019	7	8		88%	
Semana 11	7	8		88%	
22/10/2019	8	8		100%	
23/10/2019	7	8		88%	
24/10/2019	7	8		88%	
25/10/2019	6	8		75%	
26/10/2019	7	8		88%	
27/10/2019	7	8		88%	
28/10/2019	6	8		75%	
Semana 12	7	8		86%	



CARLOS TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
TAMCI S.R.L.

Figura 62. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – monitoreo de octubre

ANTAPACCA		Calculo de Monitoreo Mes de Noviembre		TAMCI	
Estimación de la Disponibilidad - Proceso de Mantenimiento de Celda de Flotación - Noviembre					
Empresa:	TAMCI SRL		Metodo	PRE- TEST	POST-TEST
Elaborado por	Huillca Canales David Suzanibar Maurate Nancy		Proceso	Mantenimiento Mecánico	
Indicador	Descripción	Tecnica	Instrumento	Formula	
Monitoreo	De acuerdo a los tiempos utiles y los tiempos totales	Observación	Cronómetro Ficha de Registro	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	
Fecha	Nº de Equipos Monitoreado	Total de Equipos		Inspección de Equipos	
29/10/2019	7	8		88%	
30/10/2019	7	8		88%	
31/10/2019	8	8		100%	
1/11/2019	7	8		88%	
2/11/2019	7	8		88%	
3/11/2019	7	8		88%	
4/11/2019	6	8		75%	
Semana 13	7	8		88%	
5/11/2019	8	8		100%	
6/11/2019	7	8		88%	
7/11/2019	7	8		88%	
8/11/2019	6	8		75%	
9/11/2019	7	8		88%	
10/11/2019	7	8		88%	
11/11/2019	7	8		88%	
Semana 14	7	8		88%	
12/11/2019	8	8		100%	
13/11/2019	7	8		88%	
14/11/2019	7	8		88%	
15/11/2019	7	8		88%	
16/11/2019	7	8		88%	
17/11/2019	6	8		75%	
18/11/2019	7	8		88%	
Semana 15	7	8		88%	
19/11/2019	8	8		100%	
20/11/2019	7	8		88%	
21/11/2019	7	8		88%	
22/11/2019	7	8		88%	
23/11/2019	7	8		88%	
24/11/2019	6	8		75%	
25/11/2019	6	8		75%	
Semana 16	7	8		86%	

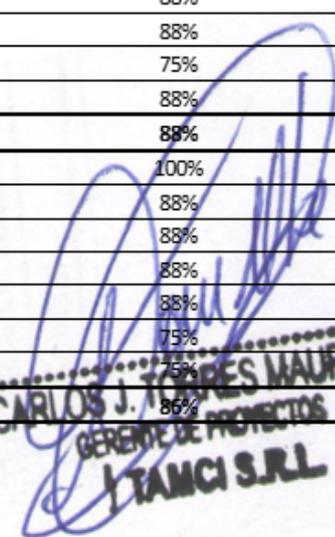

 CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI S.R.L.

Figura 63. Ficha detallada de recolección de datos Post-Test – monitoreo de noviembre

		VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES		
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº de Equipos Monitoreados	Total de Equipos	Monitoreo de Equipos
Octubre	SEMANA 9	7	8	86%
	SEMANA 10	7	8	86%
	SEMANA 11	7	8	88%
	SEMANA 12	7	8	86%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	88%
	SEMANA 14	7	8	88%
	SEMANA 15	7	8	88%
	SEMANA 16	7	8	86%
Promedio				87%
MONITOREO GENERAL		$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$		

Figura 64. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Post-Test

TIPO DE FALLAS	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		TOTAL FALLAS	TOTAL HORAS
	FALLAS	HORAS																
SISTEMA MECANICO	1	4.8	1	6.5	2	10.7	2	10.81	3	21.7	1	6.2	2	9.4	1	7.2	13	77.31
Desequilibrio entre fases							1	6.5	1	7.5								
Fallo de aislamiento											1	6.2						
Terminal defectuoso			1	6.5	1	6.5			1	6.2			1	4.2	1	7.2		
Fuga de Aceite							1	4.3										
desgaste rotor	1	4.8											1	5.2				
desgaste de rodajes					1	4.2			1	8								
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	6	109	5	140.2	3	116.1	3	85.4	3	82.2	4	86.1	3	85.3	4	112.6	31	816.9
Rodamiento en mal estado			1	35.6	1	37.3			1	21.4			1	28.2	1	26.5		
Desalineamiento de eje	2	42.3	1	22.3	1	36.5					2	38.2	1	33.7	1	25.4		
Desequilibrio en Rotor	2	32.2	1	34.5	1	42.3	1	49.2							1	27.3		
Acoplamiento Dañado	2	34.5	1	26.3			1		1	28.3	1	22.4	1	23.4				
Recalentamiento del motor			1	21.5			1	36.2	1	32.5	1	25.5			1	33.4		
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	1	6.5	0	0	1	5.8	1	6.3	1	4.2	1	4.2	1	4.5	1	6.5	7	38
terminal defectuoso					1	5.8	1	6.3					1	4.5				
desalineamiento en asiento de valvula	1	6.5									1	4.2			1	6.5		
Desgaste de Empaquetadura									1	4.2								
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	0	0	0	0	1	2	0	0	1	6.2	1	2	1	2	1	6.2	5	18.4
Cabeza de piston dañados									1	6.2					1	6.2		
Refrigeración inadecuada					1	2					1	2	1	2				
Total General	8	120.3	6	146.7	7	134.6	6	102.5	8	114.3	7	98.5	7	101.2	7	132.5	56	950.61

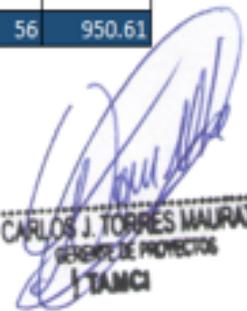

 CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 TAMCI

Figura 65. Cronograma de fallas Post_Test

Confiabilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMC?
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Confiabilidad Total	
Octubre	SEMANA 9	120	8	168	15	91.78%
	SEMANA 10	147	6	224	24	90.16%
	SEMANA 11	135	7	192	19	90.90%
	SEMANA 12	103	6	224	17	92.91%
Noviembre	SEMANA 13	114	8	168	14	92.16%
	SEMANA 14	99	7	192	14	93.17%
	SEMANA 15	101	6	224	17	93.00%
	SEMANA 16	133	7	192	19	91.03%
Promedio						92%
CONFIABILIDAD		$C = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ C: Confiabilidad MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar				

Figura 66. Ficha resumida de recolección de datos de confiabilidad Post-Test

Disponibilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMC?
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Disponibilidad Total	
Octubre	SEMANA 9	120	8	168	15	91.05%
	SEMANA 10	147	6	224	24	89.08%
	SEMANA 11	135	7	192	19	89.99%
	SEMANA 12	103	6	224	17	92.37%
Noviembre	SEMANA 13	114	8	168	14	91.50%
	SEMANA 14	99	7	192	14	92.67%
	SEMANA 15	101	6	224	17	92.47%
	SEMANA 16	133	7	192	19	90.14%
Promedio						91.2%
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ MTBF :Tiempo Medio entre Fallas				
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ MTTR : Tiempo Medio para Reparar				
DISPONIBILIDAD		$D_{Averia} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$ MTBF :Tiempo Medio entre Fallas MTTR : Tiempo Medio para Reparar				

Figura 67. Ficha resumida de recolección de datos de disponibilidad Post-Test

Tiempo medio entre fallas Post_Test

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMCf
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	
Octubre	SEMANA 9	120.3	8	168.0	
	SEMANA 10	146.7	6	224.0	
	SEMANA 11	134.6	7	192.0	
	SEMANA 12	102.5	6	224.0	
Noviembre	SEMANA 13	114.3	8	168.0	
	SEMANA 14	98.5	7	192.0	
	SEMANA 15	101.2	6	224.0	
	SEMANA 16	132.5	7	192.0	
Promedio					198.0
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ MTBF :Tiempo Medio entre Fallas			

Figura 68. Ficha resumida de recolección de datos de MTBF Post-Test

Tiempo medio de reparación Post_Tes

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMCf
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	
Octubre	SEMANA 9	120	8	15.0	
	SEMANA 10	147	6	24.5	
	SEMANA 11	135	7	19.2	
	SEMANA 12	103	6	17.1	
Noviembre	SEMANA 13	114	8	14.3	
	SEMANA 14	99	7	14.1	
	SEMANA 15	101	6	16.9	
	SEMANA 16	133	7	18.9	
Promedio					17.5
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ MTTR : Tiempo Medio para Reparar			

Figura 69. Ficha resumida de recolección de datos de MTTR Post-Test

2.8.4 Análisis costo beneficio

Los costos del mantenimiento preventivo que se viene realizando cada mes es un promedio de S/. 34,895.00, que consiste en cambio de varios repuestos como rodamientos, soportes, fajas y otros componentes, este tipo de mantenimiento es costoso porque el componente en la mayoría no ha cumplido su vida útil, con el mantenimiento predictivo se pudo reducir estos gastos una de las medidas urgentes que se adoptó fue el balanceo para evitar que las vibraciones lleguen a los rodamientos y sean dañados. Se pudo reducir en un 37 % que significa un ahorro de S/. 12775.50

Tabla 30. Análisis costo beneficio

Equipos	Costo de Mantenimiento Preventivo		Costo de Mantenimiento Predictivo	
	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Celda de Flotacion	S/ 4,320.00	S/ 4,430.00	S/ 3,103.00	S/ 2,530.00
Celda de Flotacion	S/ 4,410.00	S/ 4,300.00	S/ 3,280.00	S/ 2,350.00
Celda de Flotacion	S/ 4,310.00	S/ 4,250.00	S/ 3,175.00	S/ 2,420.00
Celda de Flotacion	S/ 4,350.00	S/ 4,480.00	S/ 3,010.00	S/ 2,475.00
Celda de Flotacion	S/ 4,370.00	S/ 4,360.00	S/ 3,003.00	S/ 2,390.00
Celda de Flotacion	S/ 4,460.00	S/ 4,290.00	S/ 3,006.00	S/ 2,550.00
Celda de Flotacion	S/ 4,420.00	S/ 4,410.00	S/ 3,100.00	S/ 2,410.00
Celda de Flotacion	S/ 4,310.00	S/ 4,320.00	S/ 3,012.00	S/ 2,425.00
Monto Total	S/ 34,950.00	S/ 34,840.00	S/ 24,689.00	S/ 19,550.00
Promedio	S/ 34,895.00		S/ 22,119.50	
			Porcentaje	37%

III. RESULTADOS

3.1 Análisis de los resultados estadísticos

Variable independiente: Mantenimiento basado en condiciones

Dimensión 1: Inspección de equipo

Indicador: % Inspección de equipo

DIMENSIONES	INDICADOR FÓRMULA	COMPARACION %	
		PRE	POST
Inspección del Equipo	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	38	83

Tabla 31. Tabla de comparación sobre la inspección de equipos pre / post obtenida

Mantenimiento Basado en Condiciones		
Semana	Inspección de Equipos Pre	Inspección de Equipos Post
1	39%	80%
2	38%	82%
3	39%	82%
4	38%	84%
5	41%	84%
6	38%	84%
7	39%	86%
8	32%	86%
Promedio	38%	83%

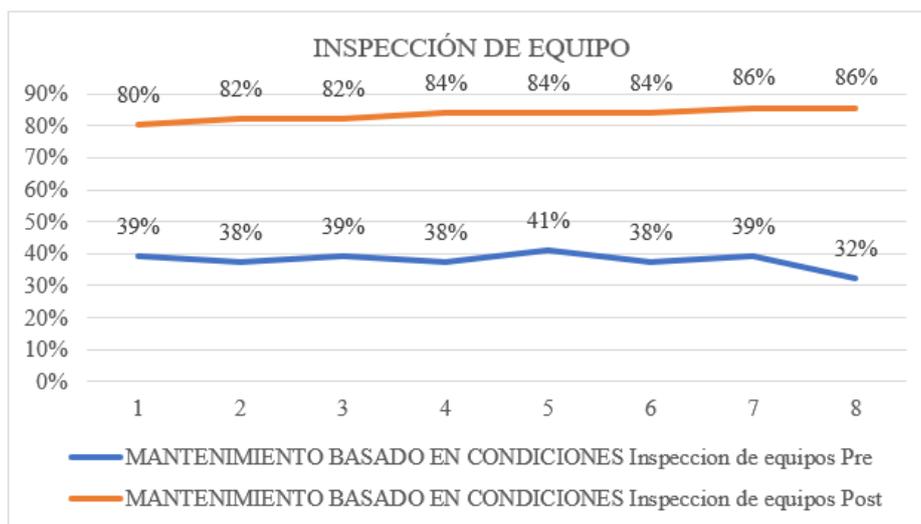


Figura 70. Resultado sobre inspección de equipos – pre / post

Interpretación: En la tabla 31 en el pre test cuenta con un promedio de 38% y en el post 83%, habiendo un aumento de 45% de Inspección de equipos con la aplicación de Mantenimiento Basado en Condiciones.

Dimensión 2: Implementación

Indicador: % de Implementación

DIMENSIONES	INDICADOR FÓRMULA	COMPARACIÓN %	
		PRE	POST
Implementación	$Implementación = \frac{N^{\circ} \text{ de máquinas a predictivo}}{\text{total de máquinas}} \times 100$	19	85

Tabla 32. Tabla de comparación sobre la implementación de equipos pre / post

Mantenimiento Basado en Condiciones		
Semana	Implementación de Equipos Pre	Implementación Equipos Post
1	18%	86%
2	20%	84%
3	18%	86%
4	20%	84%
5	20%	84%
6	18%	86%
7	20%	86%
8	20%	89%
Promedio	19%	85%

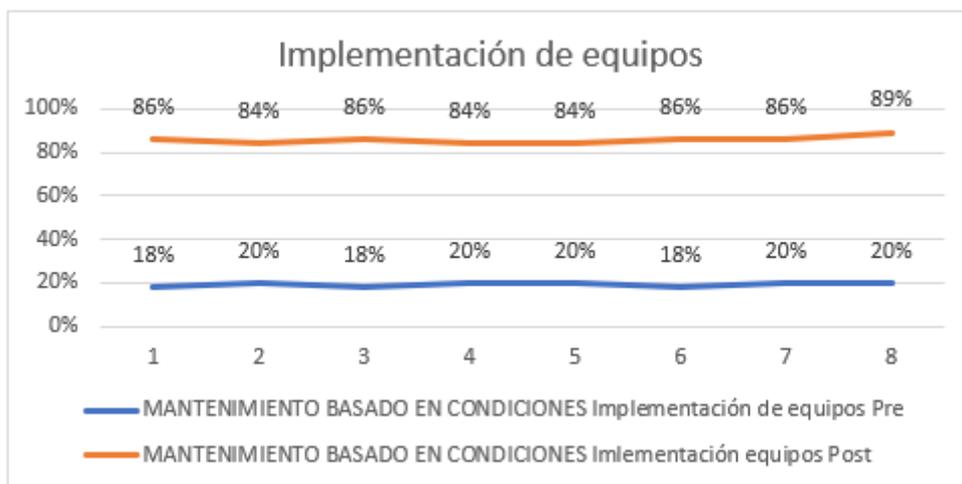


Figura 71. Resultado sobre implementación – pre / post

Interpretación: En la tabla 32 en el pre test cuenta con un promedio de 19 %. Y en el post 85 %. Habiendo un aumento de 66 %. En la implementación de equipos con la aplicación del Mantenimiento Basado en Condiciones.

Dimensión 3: Monitoreo

Indicador: % Monitoreo

DIMENSIONES	INDICADOR FÓRMULA	COMPARACION %	
		PRE	POST
Monitoreo	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	22	87

Tabla 33. Tabla de comparación sobre el monitoreo pre / post obtenida

Mantenimiento Basado en Condiciones		
Semana	Monitoreo de Equipos Pre	Monitoreo de Equipos Post
1	20%	86%
2	21%	86%
3	21%	88%
4	23%	86%
5	21%	88%
6	23%	88%
7	23%	88%
8	21%	86%
Promedio	22%	87%

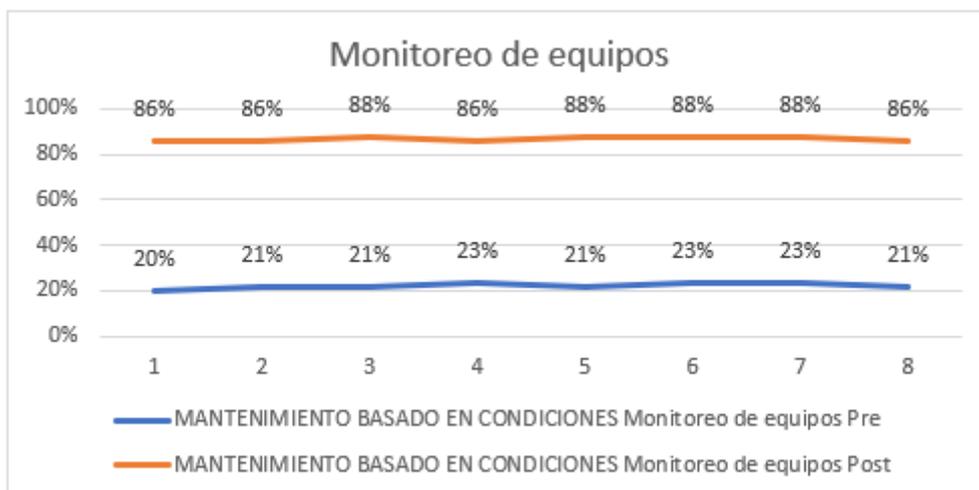


Figura 72. Resultado sobre monitoreo de equipos – pre / post

Interpretación: En la Tabla 33, en el pre test cuenta con promedio de 22% y en el post 87%, demostrando que hubo un incremento de registros de monitoreo de equipos 65% con la aplicación del Mantenimiento Basado en Condiciones.

3.1.1 Análisis estadístico descriptivo

Se realizará el análisis descriptivo de la variable dependiente con sus dimensiones y respectivos indicadores. Córdoba (2003, p.1). Se denomina estadística descriptiva, al conjunto de métodos estadísticos que se relacionan con el resumen y descripción de los datos, como tablas, gráficas y el análisis mediante algunos cálculos.

Variable dependiente: Confiabilidad

Tabla 34. Tabla de estadística descriptiva de la variable dependiente confiabilidad

Descriptivos			
			Estadístico
Confiabilidad-Pre	Media		79,8750
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	79,1773
		Límite superior	80,5727
	Media recortada al 5%		79,8611
	Mediana		80,0000
	Varianza		,696
	Desviación estándar		,83452
	Mínimo		79,00
	Máximo		81,00
	Rango		2,00
	Rango intercuartil		1,75
	Asimetría		,277
	Curtosis		-1,392
	Confiabilidad-Post	Media	
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	90,9336
		Límite superior	92,8164
Media recortada al 5%			91,9167
Mediana			92,0000
Varianza			1,268
Desviación estándar			1,12599
Mínimo			90,00
Máximo			93,00
Rango			3,00
Rango intercuartil			2,00
Asimetría			-,488
Curtosis			-,989

Fuente: SPSS Versión 24

En la tabla 34, la variable Confiabilidad se observa el porcentaje de los resultados, con respecto a las medias, cuyo resultado antes fue de 79.88% y después 91.88% obtuvo un incremento de 12% después de implementar el Mantenimiento Basado en Condiciones.

Diagrama de frecuencias de la variable confiabilidad

En la figura 73 se muestra a continuación de la variable de Confiabilidad se observa que hay una diferencia significativa entre las dos medias de antes y después del mantenimiento planificado, cuya diferencia porcentual es 12%.

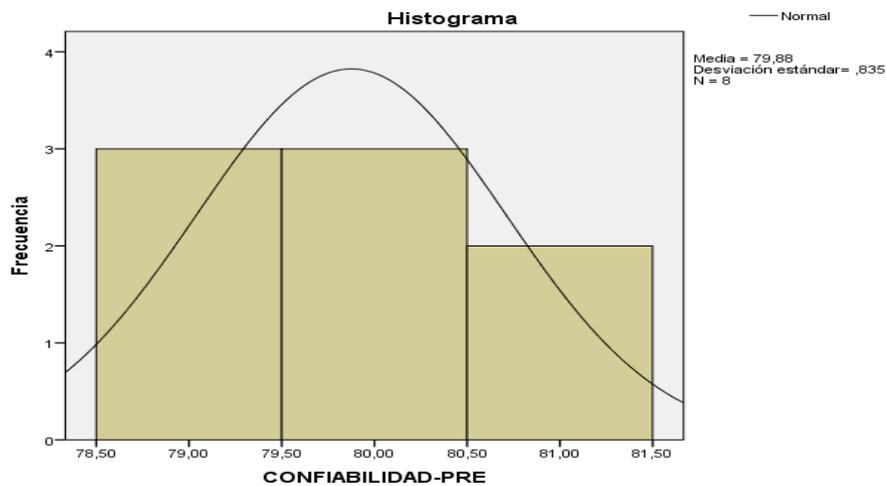


Figura 73. Diagrama de frecuencia de la variable confiabilidad antes de la aplicación de la estrategia CBM

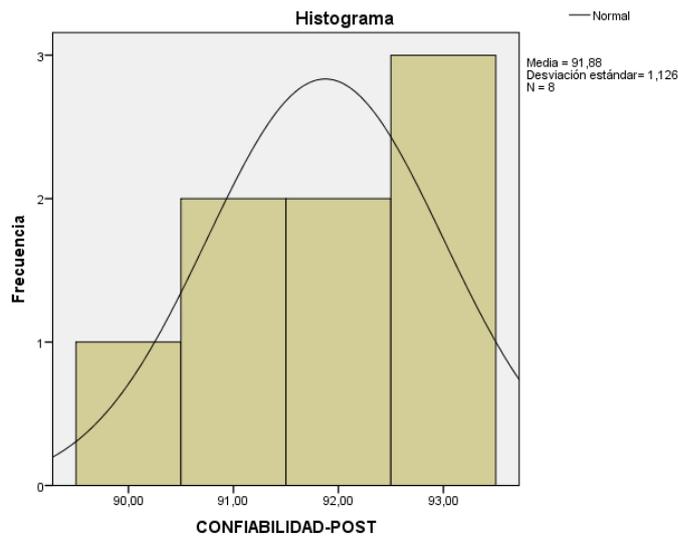


Figura 74. Diagrama de frecuencia de la variable confiabilidad antes de la aplicación de la estrategia CBM

Fuente: SSPS Versión 24

Diagrama de cajas del indicado tiempo medio entre fallas.

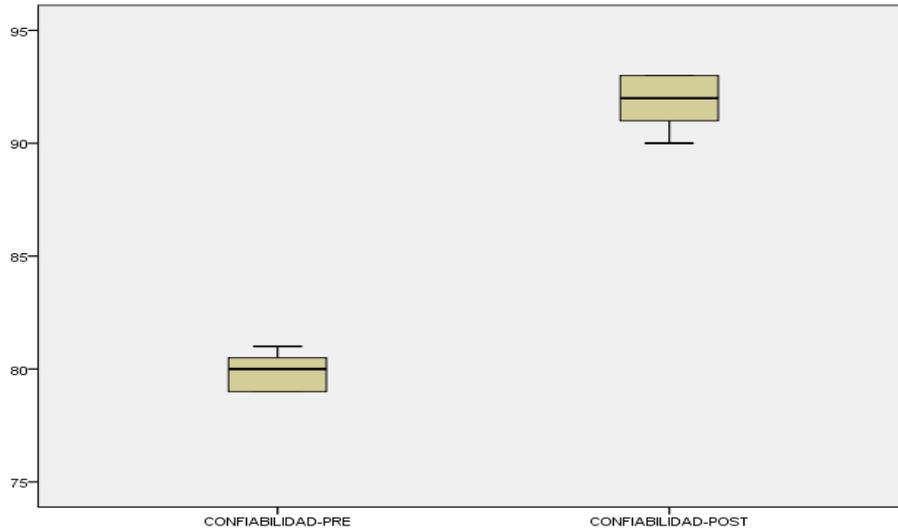


Figura 75. Diagrama de cajas del indicador tiempo medio entre fallas

Fuente: SSPS Versión 24

Diagrama normal de la variable confiabilidad

En la figura siguiente correspondiente a la Confiabilidad, se observó que los datos del antes y después tiene un comportamiento normal.

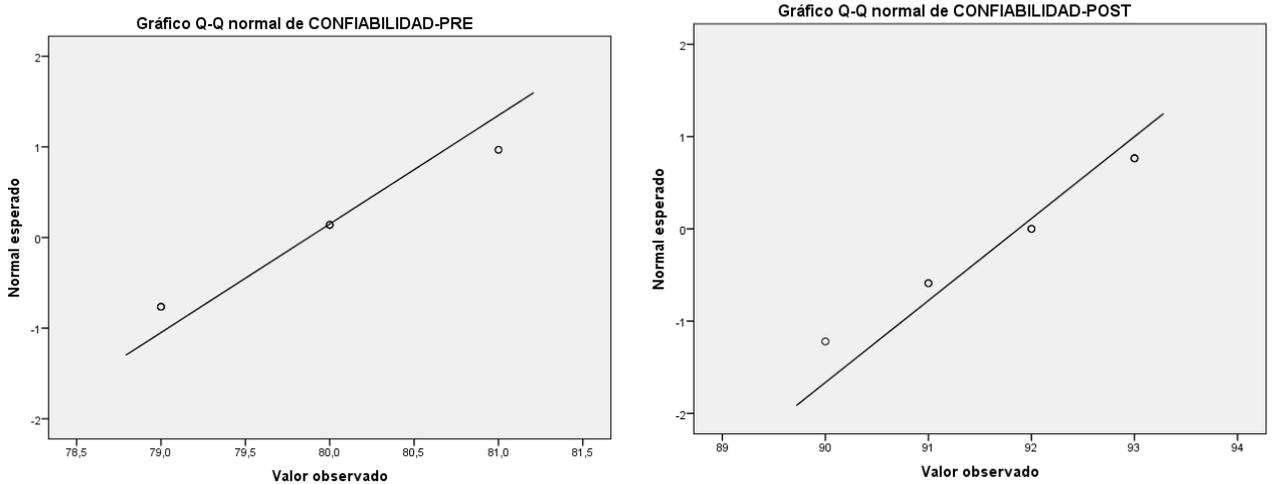


Figura 76. Diagrama normal de la variable confiabilidad

Fuente: SSPS versión 24

3.6.2 Variable dependiente:

Dimensión 1: Tiempo medio entre fallas

Se obtiene los resultados de la estadística descriptiva referente a la Tiempo Medio entre Fallas con los datos antes de la aplicación del CBM, existe un tiempo medio que puede ocurrir una falla de 103.3 horas promedio al 198.0 horas promedio, lo que significa que la probabilidad de una falla es más lejana, incrementando a un 48 %

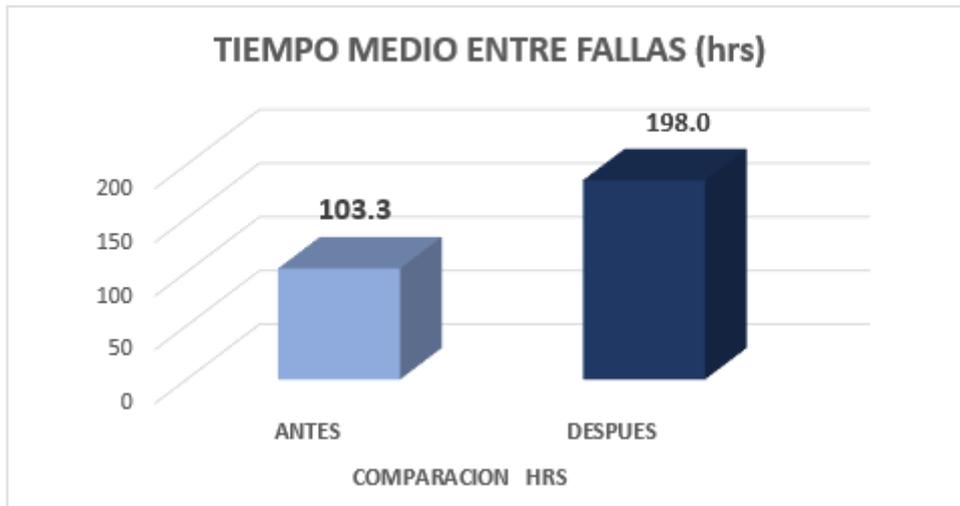


Figura 77. Diagrama de frecuencia del tiempo medio entre fallas.

Tabla 35. Estadística descriptiva de la dimensión tiempo medio entre fallas

Descriptivos		Estadístico	
Tiempo Medio entre Fallas_Pre	Media	103,1250	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	94,7120
		Límite superior	111,5380
	Media recortada al 5%	102,8056	
	Mediana	103,0000	
	Varianza	101,268	
	Desviación estándar	10,06319	
	Mínimo	90,00	
	Máximo	122,00	
	Rango	32,00	
	Rango intercuartil	13,75	
	Asimetría	,830	
	Curtosis	,715	

Tiempo Medio entre Fallas_Post	Media		198,0000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	178,1758
		Límite superior	217,8242
	Media recortada al 5%		198,2222
	Mediana		192,0000
	Varianza		562,286
	Desviación estándar		23,71256
	Mínimo		168,00
	Máximo		224,00
	Rango		56,00
	Rango intercuartil		50,00
Asimetría		-,027	
Curtosis		-1,652	

Los resultados obtenidos de la media antes de la aplicación de la Estrategia CBM presenta 103 horas y la media después de la aplicación 198 horas, donde se da un incremento de 95 horas, es decir existe un incremento de horas de Tiempo Medio entre Fallas, por ende, la ocurrencia de falla es más distante, así mismo la mediana incrementa en 89 horas.

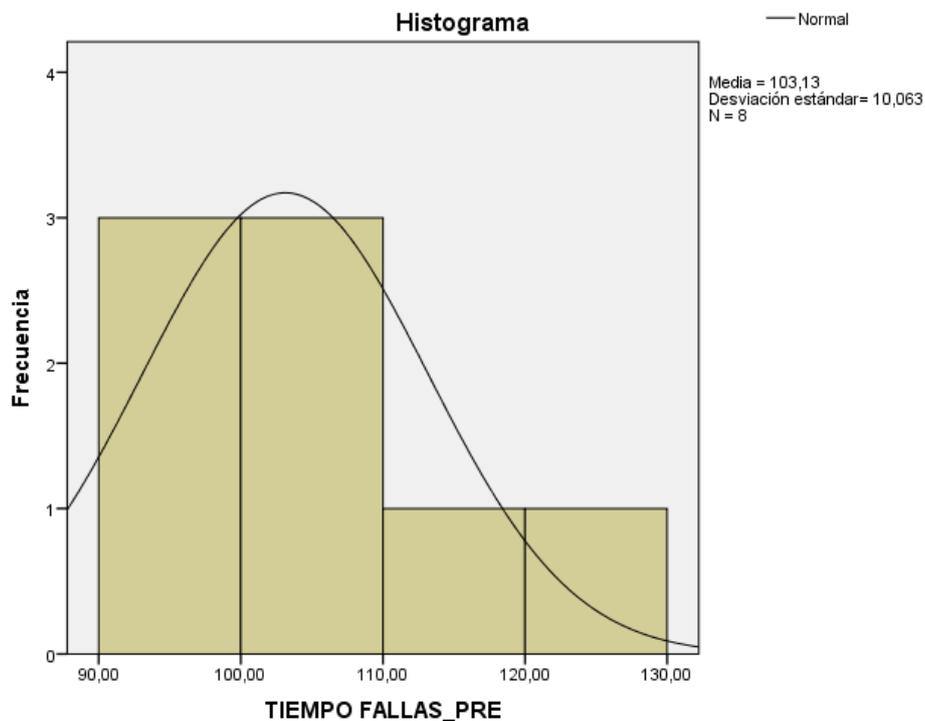


Figura 78. Diagrama de frecuencia antes de la aplicación del CBM de la dimensión tiempo medio entre fallas

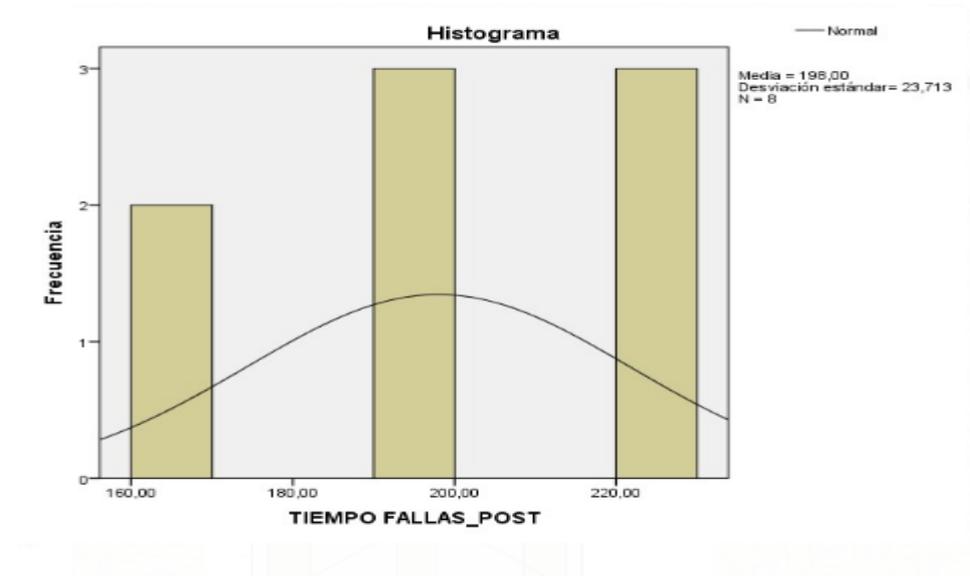


Figura 79. Diagrama de frecuencia después de la aplicación del CBM de la dimensión tiempo medio entre fallas.

Diagrama de cajas del indicado tiempo medio entre fallas

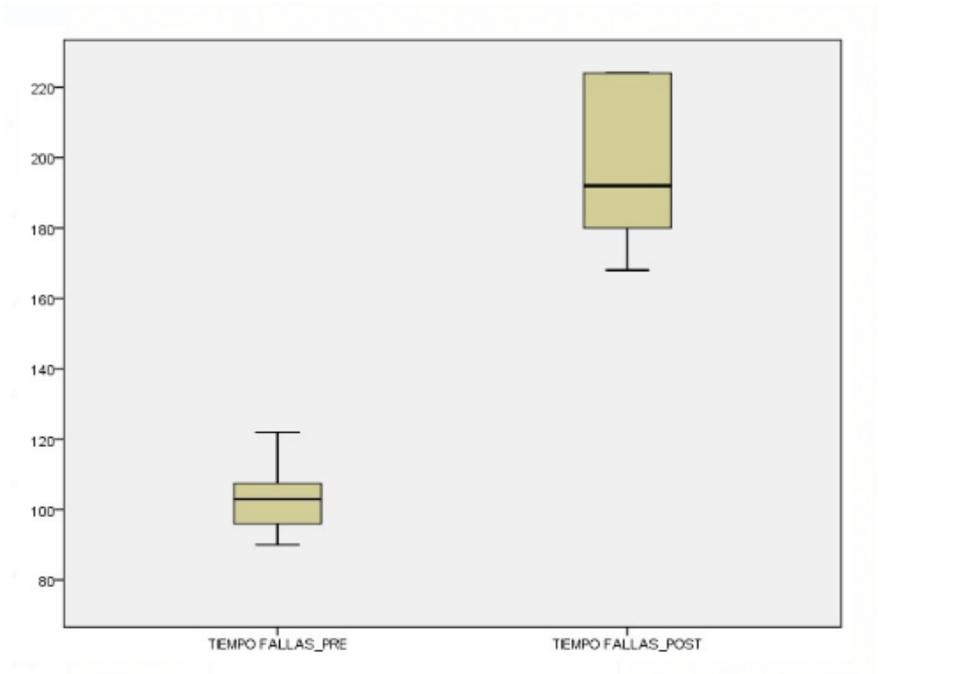


Figura 80. Diagrama de cajas del indicador tiempo medio entre fallas

Fuente: SSPS Versión 24

3.6.3 Variable dependiente:

Dimensión 2: Tiempo medio de reparación

Se redujo el Tiempo Medio de Reparación en un 33.5 % lo que significa que se redujo el tiempo de respuesta ante la ocurrencia de una avería.

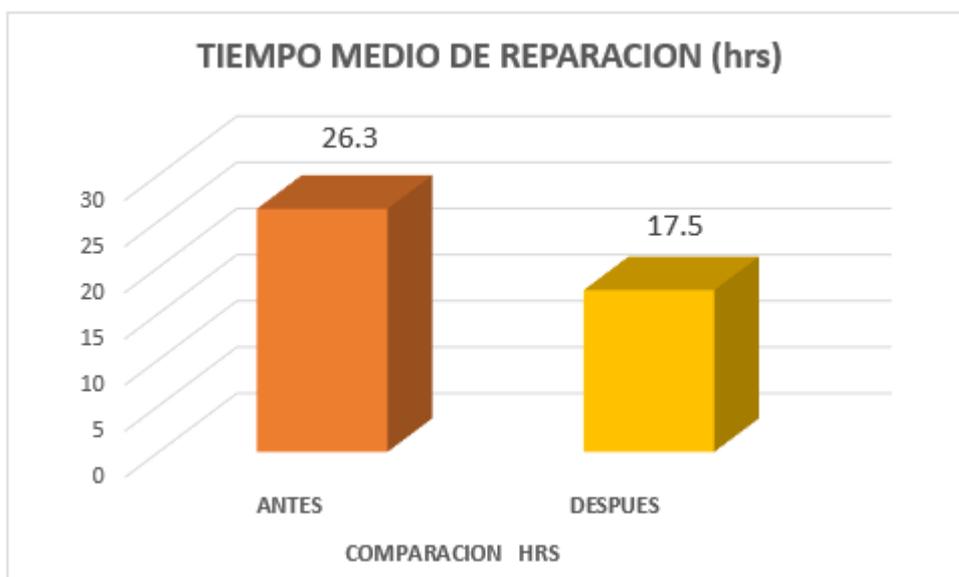


Figura 81. Diagrama de frecuencia del tiempo medio entre fallas.

Tabla 36. Estadística descriptiva de la dimensión tiempo medio de reparación

Descriptivos			
			Estadístico
Tiempo Medio de Reparacion_pre	Media		26,2500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	25,0890
		Límite superior	27,4110
	Media recortada al 5%		26,2222
	Mediana		26,0000
	Varianza		1,929
	Desviación estándar		1,38873
	Mínimo		24,00
	Máximo		29,00
	Rango		5,00
	Rango intercuartil		,75
	Asimetría		,693
	Curtosis		2,765
Tiempo Medio de Reparacion_Post	Media		17,5000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,4692
		Límite superior	20,5308
	Media recortada al 5%		17,2778
	Mediana		17,0000

Varianza	13,143
Desviación estándar	3,62531
Mínimo	14,00
Máximo	25,00
Rango	11,00
Rango intercuartil	4,75
Asimetría	1,307
Curtosis	2,074

Fuente: SPSS Versión 24

Diagrama de frecuencia de la dimensión tiempo medio de reparación

Los diagramas de frecuencia de la variable independiente con la dimensión Tiempo Medio de Reparación nos muestra el comportamiento de los datos antes de la aplicación del CBM 26 h y la media después de la aplicación 17.5 h con una reducción de 8.75 h

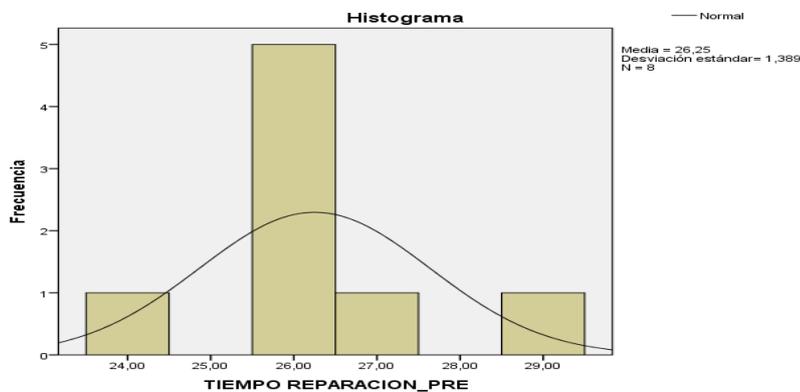


Figura 82. Diagrama de frecuencia, dimensión tiempo medio de reparación antes de la aplicación del CBM

Fuente: SPSS Versión 24

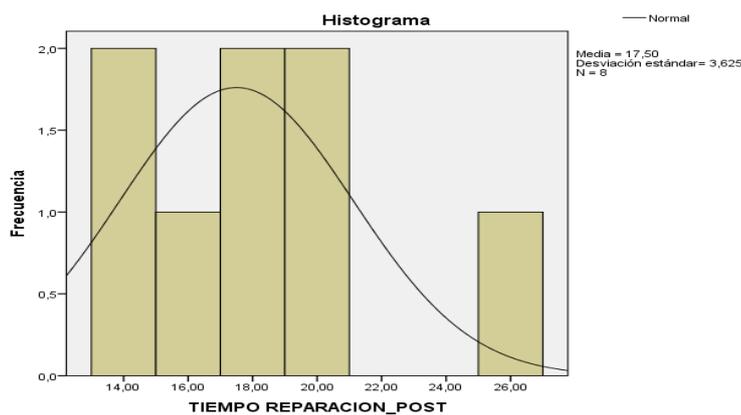


Figura 83. Diagrama de frecuencia dimensión tiempo medio de reparación después de la aplicación del mantenimiento

Fuente: SPSS versión 24

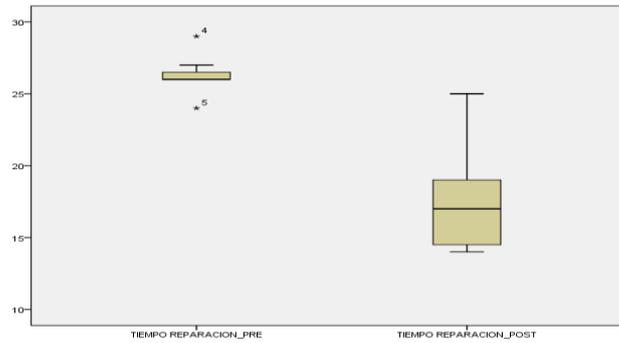


Figura 84. Diagrama de cajas de la dimensión tiempo medio de reparación antes y después de la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en condiciones.

Variable dependiente: Disponibilidad

En la tabla de la variable Disponibilidad se observa el porcentaje de los resultados, con respecto a las medias, cuyo resultado antes fue de 74.5% y después 91.25% obtuvo un incremento de 16.75% después de implementar el Mantenimiento Basado en Condiciones.

Tabla 37. Estadística descriptiva de la variable dependiente disponibilidad

Descriptivos			Estadístico
Disponibilidad_Pre	Media		74,5000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	73,4054
		Límite superior	75,5946
	Media recortada al 5%		74,5000
	Mediana		75,0000
	Varianza		1,714
	Desviación estándar		1,30931
	Mínimo		73,00
	Máximo		76,00
	Rango		3,00
	Rango intercuartil		2,75
	Asimetría		-,255
	Curtosis		-1,925
Disponibilidad_Post	Media		91,2500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	90,0060
		Límite superior	92,4940
	Media recortada al 5%		91,2778
	Mediana		91,5000
	Varianza		2,214
	Desviación estándar		1,48805
	Mínimo		89,00
	Máximo		93,00
	Rango		4,00
	Rango intercuartil		2,75
	Asimetría		-,217
	Curtosis		-1,410

Diagrama de frecuencias de la variable disponibilidad

En la figura que se muestra a continuación de la variable de productividad se observa que hay una diferencia significativa entre las dos medias de antes y después del mantenimiento planificado, cuya diferencia porcentual es 16.75%

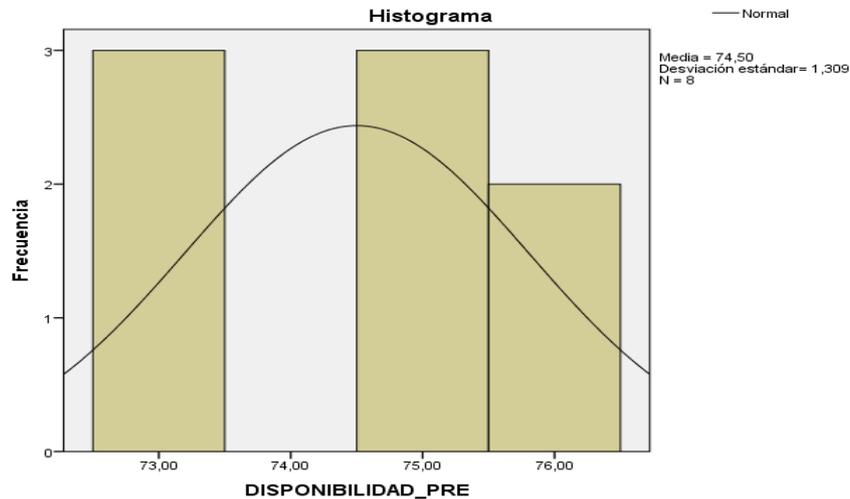


Figura 85. Diagrama de frecuencia de la variable disponibilidad antes de la aplicación del mantenimiento basado en condiciones.

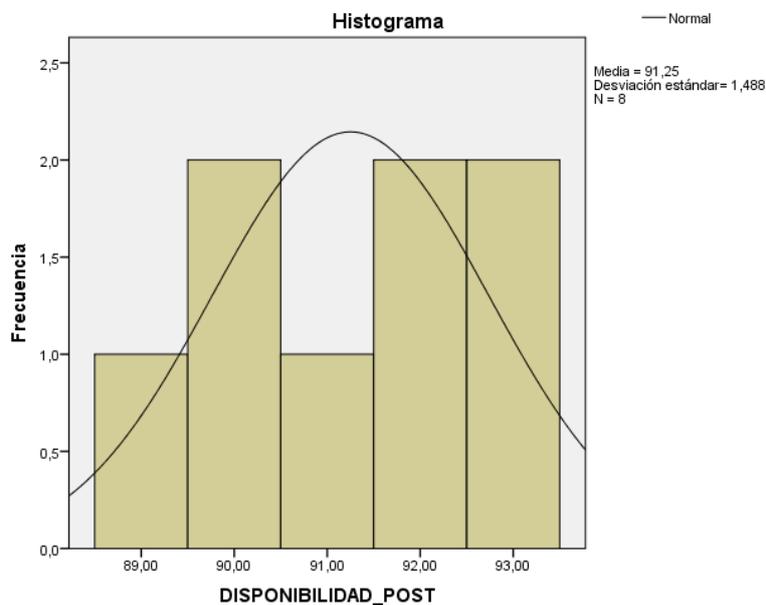


Figura 86. Frecuencia de la variable disponibilidad después de la aplicación del mantenimiento basado en condiciones.

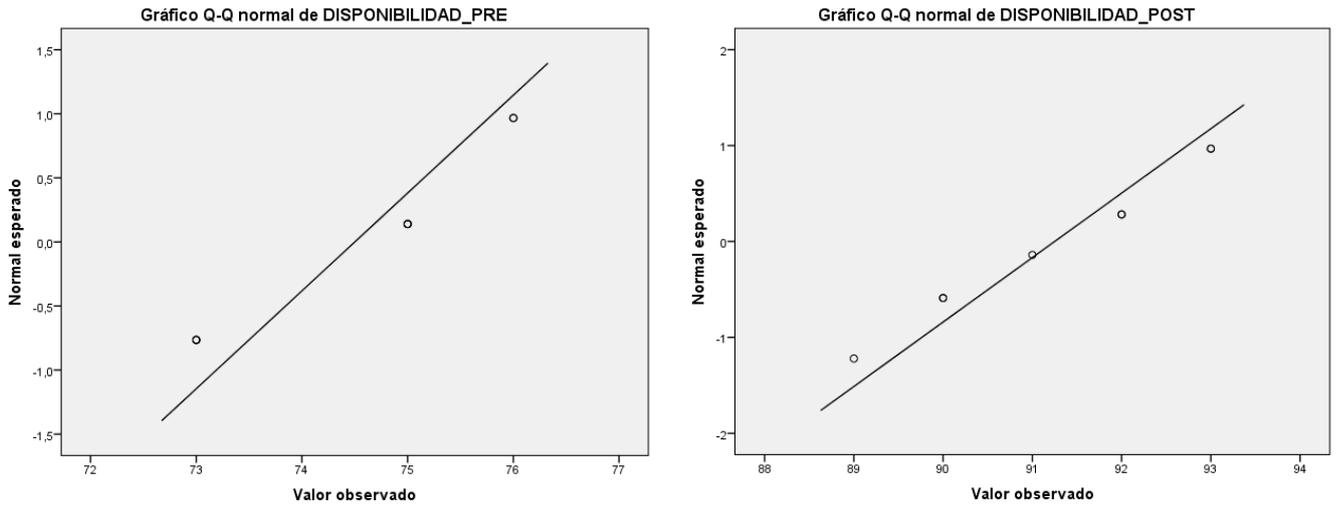


Figura 87. Diagrama normal de la variable de disponibilidad.

Fuente: SPSS versión 24

Diagrama de cajas de la variable disponibilidad

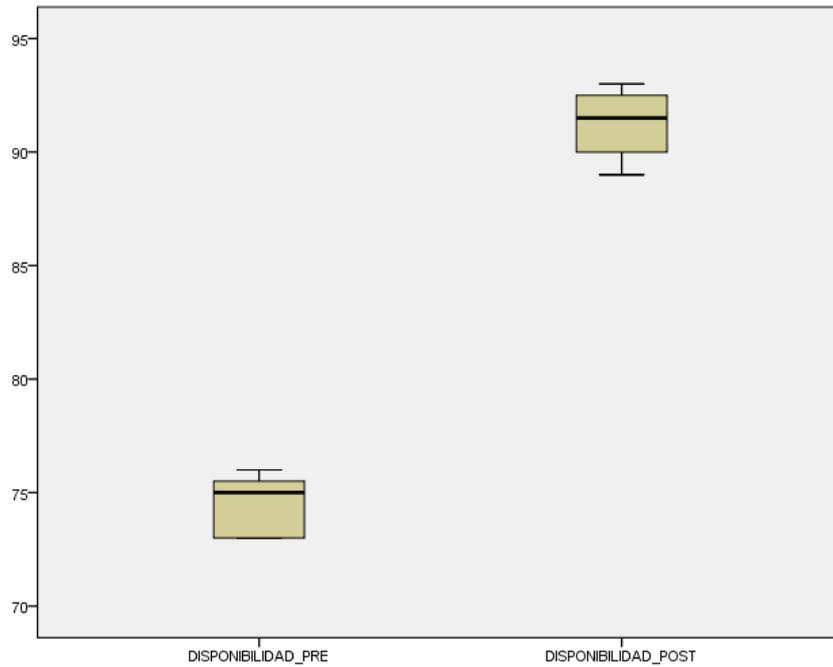


Figura 88. Diagrama de cajas de la variable disponibilidad

Fuente: SPSS versión 24

3.1.2 Análisis estadístico – inferencial

Para la evaluación de los resultados obtenidos, se determinó el tipo de prueba estadística que se utilizó para la contratación de las hipótesis. Por el tipo de estudio, se determinó que la prueba a realizar es T de Student (muestras relacionadas).

Variable Fija	Variable Aleatoria	PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
		NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICA
Estudio Transversal Muestras Independientes	Un grupo	x2Bondad de ajuste Binominal	x2Bondad de ajuste	x2Bondad de ajuste	T de Student (Una muestra)
	Dos grupos	x2 Bondad de ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X2 de Homogeneidad	U Mann-Withney	T de Student (muestras independientes)
	Más de dos grupos	X2 Bondad de ajuste.	X2 Bondad de ajuste.	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTER sujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras relacionadas)
Muestras Relacionadas	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas (INTRA sujetos)

Análisis de la hipótesis general

Con el objetivo de poder verificar el cumplimiento de la hipótesis general, es necesario determinar si los datos que se obtienen de la variable Confiabilidad pre y post, tienen un desenlace paramétrico es decir normal. Teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Datos < 30 Shapiro Wilk

Datos > 30 Kolmogorov

En consecuencia, al ser dieciséis semanas de estudio, es decir una toma de datos menores a treinta, se procederá al análisis de normalidad mediante el estadígrafo de Shapiro Wilk.

Regla de decisión.

Si $\rho_v \leq 0.05$, los datos de la muestra No provienen de una distribución normal.

Si $\rho_v > 0.05$, los datos de la muestra provienen de una distribución normal.

Tabla 38. Prueba de normalidad de datos de variable confiabilidad

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Confiabilidad-Pre	,835	8	,067
Confiabilidad-Post	,882	8	,197

Fuente: SPSS versión 24

Tabla 39. Estadígrafos a utilizar

ANTES	DESPUÈS	ESTADÌGRAFO
Paramétrico	Paramétrico	T STUDENT
Paramétrico	No Paramétrico	WILCOXON
No Paramétrico	No Paramétrico	WILCOXON

Interpretación:

Al tener un nivel de significancia mayor a 0.05 tanto en el pre y post, se demuestra que tales son normales, por lo tanto, se desenlazan de forma paramétrica. En consiguiente se utilizará el estadígrafo T Student.

Contrastación de la hipótesis general.

H0: La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones NO mejora la Confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019.

Ha: La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019.

Regla de decisión.

$$H_0: \mu_0 \geq \mu_1$$

$$H_a: \mu_0 < \mu_1$$

Tabla 40. Comparación de medias de variable confiabilidad antes y después con T de Student

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Confiabilidad-Pre	79,8750	8	,83452	,29505
	Confiabilidad-Post	91,8750	8	1,12599	,39810

Fuente: SPSS versión 24

Regla de decisión.

Si $\rho_v \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula

Tabla 41. Prueba de muestras emparejadas de variable confiabilidad

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Inferior	Superior			
Par 1	Confiabilidad-Pre - Confiabilidad-Post	-12,00000	1,30931	,46291	-13,09461	-10,90539	-25,923	7	,001

Fuente: SPSS versión 24

De la tabla 40 se puede verificar que la media de la variable Confiabilidad post (91,875) es mayor que la media de la variable productividad pre (79,875), por lo cual según la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se afirma la hipótesis planteada en la investigación.

También, de la tabla 41 de la prueba de las muestras emparejadas queda evidenciado que el valor de la significancia es de 0.001, siendo este menor que 0.05, por lo cual se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Análisis de la primera hipótesis específica.

Dimensión: Disponibilidad

Verificaremos si los datos vienen de una distribución normal de una muestra menor a 30 datos, mediante estadígrafo Shapiro-Wilk.

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad_pre	,808	8	,135
Disponibilidad_post	,920	8	,428

Tabla 42. Prueba de normalidad dimensión disponibilidad

Fuente: SSPS Versión24

Los resultados obtenidos del indicador Disponibilidad, cumple el criterio establecido por

Shapiro-wilk cuyo valor es mayor que 0,05 por tal razón proviene de una distribución normal.

Prueba de hipótesis

Ho: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones No mejora significativamente la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019

H1: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019

Tabla 43. Estadísticas de muestra emparejadas de la dimensión disponibilidad

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Disponibilidad_Pre	74,5000	8	1,30931	,46291
	Disponibilidad_Post	91,2500	8	1,48805	,52610

Fuente: SPSS Versión 24

Regla de decisión.

Si $\rho_v \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula

Tabla 44. Prueba de muestras relacionadas dimensión disponibilidad

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Disponibilidad Pre - Disponibilidad_Post	-16,75000	1,83225	,64780	-18,28180	-15,21820	-25,857	7	,001

Fuente: SPSS versión 24

De la tabla 43, se puede verificar que la media de la variable Disponibilidad_Post (91,25) es mayor que la media de la variable Disponibilidad_Pre 74,5 por lo cual según la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se afirma la hipótesis planteada en la investigación.

Así mismo, de la tabla 44, de la prueba de las muestras emparejadas queda evidenciado que el valor de la significancia es de 0.001, siendo este menor que 0.05, por lo cual se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Análisis hipótesis de la dimensión

Dimensión: Tiempo medio entre fallas

Verificaremos si los datos provienen de una distribución normal, para una muestra menos a 30 datos y se usara el estadígrafo Shapiro-Wilk. Los resultados obtenidos del indicador Tiempo Medio entre Fallas, cumple el criterio establecido por Shapiro-Wilk cuyo valor es mayor que 0,05 por tal razón proviene de una distribución normal.

Prueba de hipótesis

H₀: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones No mejora significativamente el Tiempo Medio entre Fallas de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

H₂: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el Tiempo Medio entre Fallas de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

Tabla 45. Prueba de normalidad de la dimensión tiempo medio entre fallas (Shapiro-Wilk)

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo Medio entre Fallas_pre	,928	8	,498
Tiempo Medio entre fallas_post	,831	8	,061

Fuente: SPSS Versión 24

Los resultados obtenidos del indicador Tiempo Medio entre Fallas, cumple el criterio establecido por shapiro-wilk cuyo valor es mayor que 0,05 por tal razón proviene de una distribución normal.

Tabla 46. Estadístico de muestras relacionadas de la dimensión tiempo medio entre fallas

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Tiempo Medio entre Fallas_Pre	103,1250	8	10,06319	3,55788
	Tiempo Medio entre Fallas_Post	198,0000	8	23,71256	8,38366

Fuente: SPSS Versión 24

Regla de decisión.

Si $p_v \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula

Tabla 47. Prueba de muestras relacionadas con T-student dimensión tiempo medio entre fallas

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
95% de intervalo de confianza de la diferencia									
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Tiempo Medio entre Fallas_Pre - Tiempo Medio entre Fallas_Post	-94,87500	17,89204	6,32579	-109,83312	-79,91688	-14,988	7	,001

Fuente: SPSS Versión 24

De la tabla 46, se puede verificar que la media de la variable Tiempo Medio entre Fallas_Post (198) es mayor que la media de la variable Tiempo Medio entre Fallas_Pre (103,125) por lo cual según la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se afirma la hipótesis planteada en la investigación.

Así mismo, de la tabla 47, de la prueba de las muestras emparejadas queda evidenciado que el valor de la significancia es de 0.001, siendo este menor que 0.05, por lo cual se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Análisis hipótesis de la dimensión

Dimensión tiempo medio de reparación

Verificaremos si los datos provienen de una distribución normal, para una muestra menos a 30 datos y se usara el estadígrafo shapiro-wilk.

Tabla 48. Prueba de normalidad de la dimensión tiempo medio de reparación (shapiro-Wilk)

Pruebas de normalidad			
Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo Medio de Reparacion_Pre	,827	8	,055
Tiempo Medio de Reparacion_Post	,868	8	,145

Fuente: SPSS Versión 24

Los resultados obtenidos del indicador Tiempo Medio de Reparación, cumple el criterio establecido por Shapiro-wilk cuyo valor es mayor que 0,05 por tal razón proviene de una distribución normal.

Prueba de hipótesis

Ho: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones No mejora significativamente el Tiempo Medio de Reparación de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019

H3: La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el Tiempo Medio de Reparación de los equipos de las celdas de flotación de una compañía Minera, 2019

Tabla 49. Estadístico de muestras relacionadas de la dimensión tiempo medio de reparación

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Tiempo Medio de Reparacion_Pre	26,2500	8	1,38873	,49099
	Tiempo Medio de Reparacion_post	17,5000	8	3,62531	1,28174

Fuente: SPSS Versión 24

Regla de decisión.

Si $\rho_v \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula

Tabla 50. Prueba de muestras relacionadas con T-student dimensión tiempo medio de reparación

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Tiempo Medio De Reparacion_Pre - Tiempo Medio De Reparacion_Post	8,75000	3,37004	1,19149	5,93258	11,56742	7,344	7	,001

Fuente: SSPS Versión 24

De la tabla 50 de la prueba de las muestras emparejadas queda evidenciado que el valor de la significancia es de 0.001, siendo este menor que 0.05, por lo cual se reafirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

IV. DISCUSIÓN

Al 99.999 % de confianza se admite la Hipótesis Principal p. 141, que la aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Confiabilidad de los equipos de celda de Flotación en una Minera 2019, se consiguió aumentar en 12% la confiabilidad de los equipos de Flotación de 78 % a 92%, Este resultado se asemeja Pasache, (2017) desarrollo la tesis “Plan de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones para Mejorar la Confiabilidad de los equipos rotativos del área de galvanizado en una empresa metalmecánica”, Como resultado obtuvo una mejora en la confiabilidad del equipo según los datos obtenidos aumento en un 5% ya que al inicio estaba en un 92% pasando a un 97%. Además, la disponibilidad de los equipos alcanzo una mejora del 91% al 98% aumentado en un 7% mejorando los tiempos de medio entre fallas y los tiempos medios de reparación obteniendo una mejora de 20 %.

Al 99.999 % de confianza se acepta la Hipótesis Alterna p. 143, que la aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Disponibilidad de los equipos de celda de Flotación en una Minera 2019, se obtuvo una mejora logrando incrementar a un 17 % (de 74% a 91%). En comparación con los trabajos previos según Fernández (2019) en su tesis “Elaborar un Plan de Mantenimiento Basado en la Disponibilidad de los diversos equipos que conforman el área de molienda en bocamina”, que aplicando la metodología asegura la menor cantidad de fallas correctivas a los equipos. Mejorando el indicador de la disponibilidad aplicando las técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y de monitoreo de condición (109 actividades equivalentes al 23,52%), frente al mantenimiento predictivo (73.52% restante), refleja la pro actividad que se deseaba obtener en los resultados de este plan.

Al 99.999 % de confianza se acepta la Hipótesis Alterna 2 p. 145, que la aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente los Tiempos Medios entre Falla de los equipos de celda de flotación en una minera 2019, se alcanzó incrementar un 48 % de tiempos medios de fallas optimizando así la disponibilidad de los equipos, este resultado se asemeja a Verdezoto (2015) en su Tesis “Propuesta de Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo, Basado en la criticidad de los equipos del proceso de laminación en caliente para la empresa Andec S.A.”. Los resultados obtenidos del análisis de fallas, mostraron que el

73% de las fallas operativas mecánicas pudieron ser evitadas aplicando un correcto plan de mantenimiento, además de aumentar la mejora de tiempos medios de fallas a un 38% logrando lo previsto.

Al 99.999 % de confianza se aceptan la Hipótesis Alternativa 3 p. 146, que la aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la los tiempos medios de reparación de los equipos de celda de flotación en una minera 2019, se logró disminuir a un 34% los tiempos medios de reparación, es decir que el tiempo de reparación de un equipo es menor. Según Ibérico y Figueroa (2019) quienes presentaron la tesis “Diagnóstico de Fallas, por Mantenimiento Predictivo, para optimizar el servicio post venta de maquinaria pesada Volvo, en una empresa concesionaria automotriz”, los resultados de la investigación según el mantenimiento aplicado que se basó en condiciones predictivas analizando las fallas para diagnosticarlas y optimizar la disponibilidad de los equipos, con estas pruebas predictivas se logró un 30% de mejora en la disponibilidad de equipos de (58% a 89%), además se trabajó con 3 equipos críticos mejorando su tiempo medio de reparación en un 27%, disminuyendo su tiempo de reparación.

V. CONCLUSIONES

Queda demostrado, durante el desarrollo y aplicación de implementar una Estrategia de mantenimiento Basado en Condiciones mejora la confiabilidad de los equipos de celda de Flotación en una Minera 2019, esto se fundamenta con los registros adquiridos en las diferentes pruebas realizadas a la variable Dependiente logrando incrementar la confiabilidad de un 80% a un 92%, mejorando en un 12% la confiabilidad de los equipos, considerando el análisis de modos de fallas logrando prolongar la vida útil de sus componentes.

Por otra parte, queda probado que, en la actual investigación, la ejecución de una Estrategia de mantenimiento Basado en Condiciones mostró una mejora significativa en el indicador de la Disponibilidad de los equipos, contribuyendo a un progreso del 17 %, pasando de un 74% a un 94%, teniendo en consideración los puntos críticos y los modos de fallas con defectos, la empresa logro adquirir este resultado con ayuda de la herramienta predictiva de vibración y ultrasonidos.

Se determinó, que en el programa de Mantenimiento Basado en Condiciones permitió conocer aspectos importantes; como la frecuencia de inspección, puntos de medición, rutas, procedimientos precisos para la obtención y análisis de datos, además lograr que estas se prolonguen en el tiempo, en tal sentido se pudo obtener una mejora de promedio de horas pre- a la investigación de 103.3 horas a 198 horas; es decir, un incremento en el indicador de tiempos Medios de Falla a un 48%.

Por último, queda demostrando que la Herramienta de Análisis de Criticidad identificó los puntos críticos del sistema de Flotación, todos ellos ocurridos en los sistemas móviles de los motores. Así mismo, los resultados demostraron que se obtuvo una reducción de los Tiempos Medios de Reparación de los equipos, en base a los resultados obtenidos de las pruebas de hipótesis realizadas a esta dimensión se pudo obtener una mejora de promedio de horas reparadas, pre- a la investigación es de 26.3 horas a 17.5hrs. Es decir, disminuye las horas reparadas a 34%.

VI. RECOMENDACIONES

Para esta estrategia de Mantenimiento, se recomienda determinar un técnico responsable con experiencia laboral en mediciones y reparaciones predictivas para monitorear con calidad, garantizando la disponibilidad, confiabilidad de los equipos de la celda de flotación, Además el técnico responsable es el encargado de registrar la base de datos de manera responsable, estos datos permitirá disponer un seguimiento riguroso de los problemas o fallas que se proyectan para realizar un seguimiento y control según la implementación de análisis de modos de fallas.

Por otra parte, se recomienda el uso de las Técnica de Análisis de Criticidad Funcional, para establecer los diferentes defectos de cada modo de falla y clasificarlo según la gravedad de las consecuencias, por lo cual el estudio de criticidad analiza y saca a la luz los componentes más vulnerables de los equipos, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones a la empresas, y poder dar solución a los diferentes problemas ocasionado por las averías mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

También, se recomienda en relación al uso de la herramienta de análisis de Vibración capacitar a todo el personal técnico de mantenimiento medir de manera correcta la vibración según los parámetros importantes de amplitud, frecuencia y fase con la forma de medición del desplazamiento que realiza un recorrido total según las posiciones y ubicaciones de puntos, Así mismo, los técnicos con mayor experiencia contribuyen de manera favorable en los análisis de modos de fallas para una buena toma de decisiones.

Por último, se recomienda implementar una estrategia de Mantenimiento que se basa en las diversas condiciones predictivas en las demás áreas de la empresa Tamci SRL, ya que la empresa realiza mantenimiento de diversos equipos en las diferentes líneas de producción de la minera Antapaccay, más aun incluir las demás técnicas como los análisis de aceite y la termografía, optimizando el trabajo de mantenimiento y generando competitividad a la empresa logrando satisfacer las necesidades de los clientes garantizando la disponibilidad de los equipos.

VII. REFERENCIAS

- Aquino, W. E. (2017). Plan de Mantenimiento Basado en la Condición para mejorar la Disponibilidad del Molino SAG en la Compañía Minera Chinalco Perú (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú) Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCPC/1644>
- Ayala, J. J. (2018). Aplicación del sistema de mantenimiento basado en condiciones (cbm), para vehículos y maquinaria pesada del área automotriz del gad municipal de Tulcán. (Tesis de pregrado, Universidad técnica del Norte, Ibarra, Ecuador) Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8575?mode=full>
- Barbieri, F., Hines, J. W., Sharp, M., & Venturini, M. (2015). Sensor-based degradation prediction and prognostics for remaining useful life estimation: validation on experimental data of electric motors. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 6, 1-20.
- Barraza , D. (2014). Opportunities and Challenges in Condition-Based Maintenance Research. *Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference* (pág. 9). Texas: Universidad Tecnológica de Texas.
- Ben Said, A., Shahzad, M. K., Zamai, E., Hubac, S., & Tollenaere, M. (2016). Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using bayesian approach. *Cognition, Technology & Work*, 18(1), 193-213.
- Benavides (2012). Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using bayesian approach. *Cognition, Technology & Work*, 18(1), 193-213.
- Bernal Matute, Á. A. (2012). Manejo y Optimización de las Operaciones de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en un Taller Automotriz. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Carnero , M. (2012). Condition Based Maintenance in Small Industries. *IFAC Proceedings Volumes*, 199-204.

- Chen, Z., Cao, S., & Mao, Z. (2017). Remaining useful life estimation of aircraft engines using a modified similarity and supporting vector machine (SVM) approach. *Energies*, 11(1), 28.
- Collantes, M.M. (2017). Propuesta de implementación del mantenimiento preventivo en las celdas de flotación kyf-300 para mejorar la productividad en planta de cobre - Chinalco – Perú (Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú) Recuperado de <https://core.ac.uk/reader/155248422>
- Córdova, M. (2003). *Estadística Descriptiva e Inferencial* (5ª ed.). Madrid, España: MOSHERA SRL
- Cuatrecasas, L. & Torell, F. (2010). *Tpm en un entorno Lean Management*. Barcelona: Profit Editorial I, 2010. 411 pp ISBN: 978-84-92956-12-8.
- De la Paz Martínez, E., & López Espinosa, H. (2014). Evolución de mantenimiento en Cuba y la participación de las universidades en el proceso. *Revista CINTEX*, 48-53.
- Diario Gestión, (2016). *Gestión Grupo El Comercio*. Publicado el 15 de diciembre de 2016. Recuperado de <https://gestion.pe/>
- Djelloul, I., Souier, M., & Sari, Z. (2015). Fault diagnosis problem integrated with condition based maintenance strategy: EEA. *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 63(2), 102-109.
- Farina, A. L. (2016). Comparison of prognosis methods for the energy consumption of machines and further development with regard to increasing data availability. *Applied Mechanics and Materials*, 856, 64-72.
- Fernández, J. H. (2019). Elaborar un plan de mantenimiento basado en la disponibilidad de los diversos equipos que conforman el área de molienda en bocamina (Tesis de pregrado, Universidad técnica Federico Santa María, Concepción, Chile). Recuperado de <https://hdl.handle.net/11673/46294>
- García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Bogotá: Ediciones de la U, 2012. 59 pp. ISBN: 9789587620511.

- Gerardo, T. C. (2015) . Noria Latín América. Monitoreo de Condición. Una estrategia de Integración de Tecnologías. 1° Congreso Mexicano de confiabilidad y mantenimiento.
- González, H. D. L. (2016). Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto. Ecoe Ediciones.
- Goodfellow, J. (2000). Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Overhead Electric Utility Distribution Systems. Power Engineering Society Meeting. Seattle: IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). México D. F.: McGraw Hill.
- Ho Shin, J., & Bae Jun, H. (2015). On condition based maintenance policy. In Journal of Computational Design and Engineering, 119-127.
- Ibérico, A.J. y Figueroa O.E. (2019). Diagnóstico de fallas, por mantenimiento predictivo, para optimizar el servicio post venta de maquinaria pesada volvo, en una empresa concesionaria automotriz (Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú) Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/35087?locale-attribute=en>
- Kisic, E., Durovic, Z., Kovacevic, B., & Petrovic, V. (2015). Application of T 2 control charts and hidden markov models in condition-based maintenance at thermoelectric power plants. Shock and Vibration, 2015
- Lannoy, A., & Procaccia, H. (2014). Expertise, safety, reliability, and decision making: Practical industrial experience. Environment Systems & Decisions, 34(2), 259-276.
- Li Wang, Jiguang Yue, Yongqing Su, Feng Lu, & Qiang Sun. (2017). A Novel Remaining Useful Life Prediction Approach for Superbuck Converter Circuits Based on Modified Grey Wolf Optimizer-Support Vector Regression. Energies (19961073), 10(4), 459.
- López, D. A. (2016). Diagnóstico de fallas de rodamientos de equipos de rotación utilizando redes neuronales artificiales. (Tesis de pregrado, Pontificia

- Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile). Recuperado de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3500/UCD3634_01.pdf
- López-López, J. F., Jhouben Janyk, C. R., & Quintero-Riaza, H. (2017). Gaussian processes in ball bearing prognostics. *Dyna*, 84(203), 214-219.
- Martínez Giraldo, L. A. (2014). Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Mayorca, R.J. (2019). Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una pyme utilizando el RCM (Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú) Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625619?locale-attribute=es>
- Mora, Alberto. 2009. Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. Bogotá: Alfaomega Colombiana, 2009. 504 pp. ISBN: 978-958-682-769-0.
- Moreno, S. (2016). Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo basado en condición en una plataforma naval (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica, Cartagena, Colombia). Recuperado de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6511/tfg-mor-imp.pdf?sequence=1>
- Mundarain, C. H. (2009). Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos (Tesis de pregrado, Universidad de oriente núcleo de Anzoátegui, Puerto la Cruz, Venezuela). Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/13162666/tesisprograma-de-mantenimiento-basado-en-condicion>
- Niño Rojas, V. M. (2011). Metodología de la Investigación. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pasache, J. G. (2017). Plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones para mejorar la confiabilidad de los equipos rotativos del área de galvanizado en una empresa metalmecánica, lima 2017. (Tesis de pregrado, Universidad Cesar

Vallejo, Lima, Perú) Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/13025>

Ramos, V., & Daniel, D. (2016). Implementación de un modelo de gestión por indicadores para mejorar el proceso de órdenes de servicio en el área de mantenimiento de grupos electrógenos, utilizando la herramienta del Benchmarking. (Tesis parcial).

Reportero industrial (2019). Axioma B2B Marketing, grupo Axioma Group S.A.S. Publicado el 07 de setiembre de 2019. Recuperado de <http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Los-principales-objetivos-del-mantenimiento+114923>

Ruiz, A. (2012). Modelo para la implementación del mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Título (Especialización en Gerencia de mantenimiento). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander Colombia, 2012. p.30.

Sánchez Lasheras, F., García Nieto, P. J., Javier de Cos Juez, F., Mayo Bayón, R., & González Suárez, V. M. (2015). A Hybrid PCA-CART-MARS-Based Prognostic Approach of the Remaining Useful Life for Aircraft Engines. *Sensors* (14248220), 15(3), 7062–7083.

Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación Científica (4ª ed.).Madrid, España: Editorial Limusa Noriega Editorial.

Toapanta, O. G. (2009). Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores recíprocos y de tornillo. (Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador) Recuperado de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/260>

Velmurugan, R. S., & Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622-1661.

Verdezoto, N. E. (2015). Propuesta de elaboración de un plan de mantenimiento predictivo, basado en la criticidad de los equipos del proceso de laminación en caliente para la empresa ANDEC S.A. (Tesis de pregrado, Universidad de

Guayaquil, Guayaquil, Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8852/1/tesis%20completa%20verde%20alvarez%20natali.pdf>

Villegas, J. C. (2016). Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L. contratistas generales (Tesis de pregrado, Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú) Recuperado de <http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15234>.

Wang, K., Li, Z., Braaten, J., & Yu, Q. (2015). Interpretation and compensation of backlash error data in machine centers for intelligent predictive maintenance using ANNs. *Advances in Manufacturing*, 3(2), 97-104.

Wang, P., & vachtsevanos, G. (2001). Fault prognostics using dynamic wavelet neural networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AI EDAM*, 15(4), 349-365.

Xia, T., Jin, X., Xi, L., Zhang, Y., & Ni, J. (2015). Operating load based real-time rolling grey forecasting for machine health prognosis in dynamic maintenance schedule. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(2), 269–280.

Yi, X. J., Dong, H. P., Wang, Q. F., & Zhang, Z. (2015). A new system reliability analysis method: the current development of GO methodology in China. *WIT Trans. Eng. Sci*, 108(1), 222-229.

Yin, X., Ding, Z., Han, X., & Zhou, Z. (2016). A BRB based fault prediction method of complex electromechanical systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016

Zhang, Y., Kusiak, B., & Ma, V. D. (2017). Diagnostic test generation for transition delay faults using stuck-at fault detection tools. *Journal of Electronic Testing : (JETTA)*, 30(6), 763-780

VIII. ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz de coherencia

MATRIZ DE COHERENCIA		
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Principal	General	General
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera.	La Aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de celda de flotación de una compañía Minera 2019
Específicos	Específicos	Específicos
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la disponibilidad total de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente la Disponibilidad Total de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Medio entre Fallas de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de Flotación de	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de las Celdas de flotación de una
¿En qué medida la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el Tiempo Medio de Reparación de los equipos del área de flotación de una compañía Minera, Perú 2019?	Determinar en qué medida la implementación de un Mantenimiento Basado en Condiciones mejora el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de Flotación de una compañía Minera, 2019	La aplicación de una estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora significativamente el tiempo Promedio de Reparación de los equipos de las Celdas de flotación de una compañía Minera, 2019.

Anexo N° 2. Matriz de operacionalización de las variables

Tabla N° 8. Mantenimiento basado en condiciones para mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de flotación de una Compañía Minera, Perú 2019

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de Medición
(INDEPENDIENTE) Mantenimiento Basado en Condiciones	Es una estrategia de mantenimiento que trata de optimizar los recursos y maximizar la disponibilidad o fiabilidad de las instalaciones. La clave del mantenimiento Basado en condiciones es el diagnosticar, saber en qué estado se encuentran los equipos, esto es una actividad continua y sistemática, se analiza para realizar tareas de mantenimiento que tiene como objetivo compensar la degradación de los equipos (Mora, 2010, p. 95)	Se define usando las siguientes dimensiones: Detección. Implementación, Monitoreo con sus respectivos indicadores.	Inspección de Equipo (Cuatrecasas, 2010, p.216)	$IE = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos (Cuatrecasas, 2010, p.216)	Ficha de control y recolección de datos	Razón
			Implementación (Cuatrecasas, 2010, p.223)	$\text{Implementación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$ (Cuatrecasas, 2010, p.223)	Ficha de observación, control y recolección de datos	Razón
			Monitoreo (Cuatrecasas, 2010, p.220)	$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$ (Cuatrecasas, 2010, p.220)	Ficha de evaluación final y registro.	Razón

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de Medición
(DEPENDIENTE) Confiabilidad	La confiabilidad operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización. (García, 2012, p. 90)	Se define usando las siguientes dimensiones: Tiempo Medio entre Fallas, Tiempo Medio para Reparar y Disponibilidad	MTBF: Tiempo Medio entre Fallas	$MTBF = \frac{N^{\circ} horas}{Total\ de\ Averias}$ <p>(Mora A, 2009, p. 77)</p>	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica
			MTTR: Tiempo Medio para Reparar	$MTTR = \frac{N^{\circ} horas\ de\ paro\ por\ averia}{total\ de\ Averias}$ <p>(Mora, 2010, p. 77)</p>	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica
			Disponibilidad	$Disponibilidad = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$ <p>MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar</p> <p>(Mora, 2010, p. 78)</p>	Ficha de cálculo y recolección de datos	Numérica

Anexo N° 3. Carta de presentación de la empresa

Lima, 02 de diciembre del 2019

Señor

Dr. Robert Julio Contreras Rivera

Director Nacional de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Cesar Vallejo – Sede Lima Este

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS DE INVESTIGACION

Yo Marco Antonio Rojas Hurtado, identificado con DNI: 42527971 de Perú, en mi calidad de representante legal de la empresa TAMCI SRL, autorizo a los estudiantes David Huilca Canales y Nancy María Suzanibar Maurate, estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, de la Universidad Cesar Vallejo – Sede Lima Este, a utilizar información confidencial de la empresa para el desarrollo del proyecto de tesis denominado **“Aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones para mejorar la Confiabilidad de los Equipos en el Área de Flotación de una Compañía Minera, Perú 2019”**. Como condiciones contractuales, el estudiante se obliga a (1) no divulgar ni usar para fines personales la información (documentos, expedientes, escritos, artículos, contratos, estados de cuenta y demás materiales) que, con objeto de la relación de trabajo, le fue suministrada; (2) no proporcionar a terceras personas, verbalmente o por escrito, directa o indirectamente, información alguna de las actividades y/o procesos de cualquier clase que fuesen observadas en la empresa durante la duración del proyecto y (3) no utilizar completa o parcialmente ninguno de los productos (documentos, metodología, procesos y demás) relacionados con el proyecto.

El estudiante asume que toda información y el resultado del proyecto serán de uso exclusivamente académico.

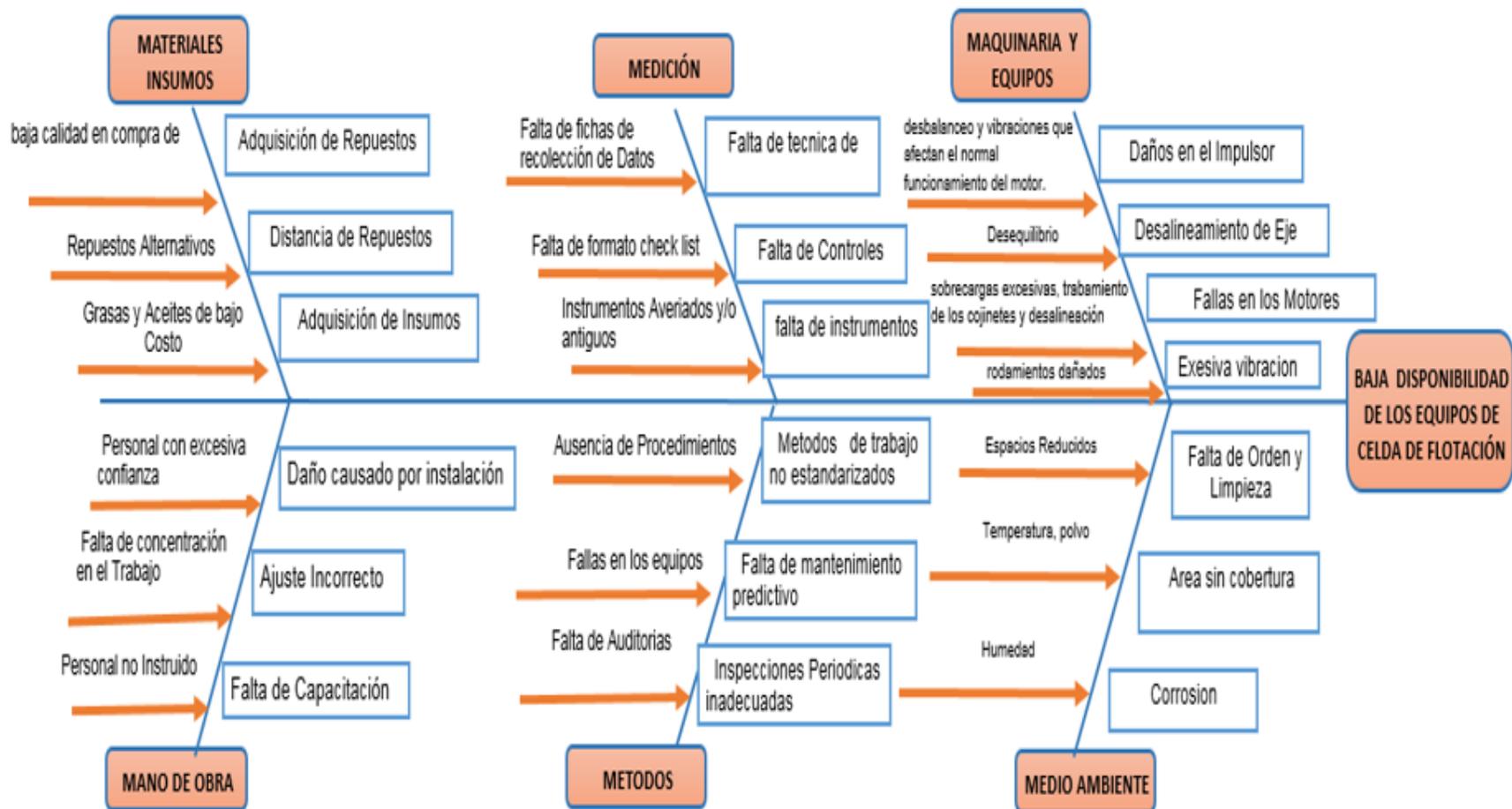
El material suministrado por la empresa será la base para la construcción de un estudio de caso. La información y resultado que se obtenga del mismo podrían llegar a convertirse en una herramienta didáctica que apoye la formación de los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.

Atentamente,

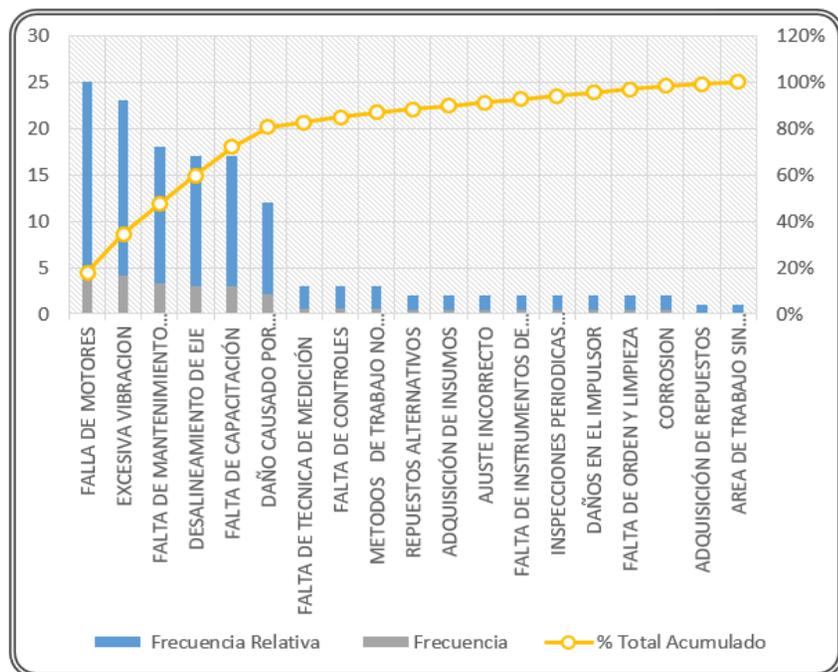


Marco Antonio Rojas Hurtado
Gerente General
MARCO A. ROJAS HURTADO
GERENTE GENERAL
TAMCI S.R.L.
Marco Rojas H...
DNI: 42527971

Anexo N° 4. Diagrama causa y efecto

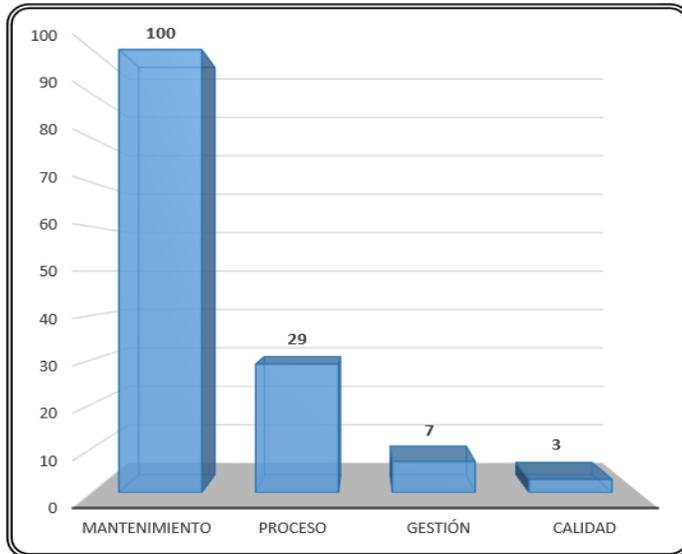


Anexo N° 5. Diagrama de Pareto



N°	CAUSAS QUE GENERAN FALLAS EN LA CELDA DE FLOTACIÓN	Frecuencia Relativa	Frecuencia	% Total Acumulado
15	FALLA DE MOTORES	25	18%	18%
16	EXCESIVA VIBRACION	23	17%	35%
11	FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	18	13%	47%
14	DESALINEAMIENTO DE EJE	17	12%	60%
6	FALTA DE CAPACITACIÓN	17	12%	72%
4	DAÑO CAUSADO POR INSTALACIÓN	12	9%	81%
7	FALTA DE TÉCNICA DE MEDICIÓN	3	2%	83%
8	FALTA DE CONTROLES	3	2%	85%
10	MÉTODOS DE TRABAJO NO ESTANDARIZADOS	3	2%	87%
2	REPUESTOS ALTERNATIVOS	2	1%	88%
3	ADQUISICIÓN DE INSUMOS	2	1%	90%
5	AJUSTE INCORRECTO	2	1%	91%
9	FALTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	2	1%	93%
12	INSPECCIONES PERIODICAS INADECUADAS	2	1%	94%
13	DAÑOS EN EL IMPULSOR	2	1%	96%
17	FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	2	1%	97%
19	CORROSION	2	1%	99%
1	ADQUISICIÓN DE REPUESTOS	1	1%	99%
18	AREA DE TRABAJO SIN COBERTURA	1	1%	100%
TOTAL		139	100%	

Anexo N° 6. Matriz de estratificación



ESTRATIFICACIÓN	
TIPO	FRECUENCIA
MANTENIMIENTO	100
PROCESO	29
GESTIÓN	7
CALIDAD	3
TOTAL	139

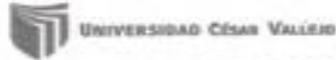
Anexo N° 7. Solución en base a alternativas

ALTERNATIVAS	CRITERIOS				TOTAL
	SOLUCION A LA	COSTOS DE APLICACIÓN	FACILIDAD DE	TIEMPO DE APLICACIÓN	
TPM	2	0	0	0	2
KAIZEN	2	0	1	0	3
MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES	2	2	2	2	8

No bueno(0) - Bueno(1) - Muy Bueno(2)

**Criterios aprobados por el departamento de Calidad de TAMCI SRL

Anexo N° 8. Juicio de expertos N° 1



CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

N°	DIMENSIONES / Ítems	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		SI	No	SI	No	SI	No	
VARIABLE INDEPENDIENTE: Mantenimiento Basado en Condiciones								
1	DIMENSION 1: Detección	SI	No	SI	No	SI	No	
	Tiempo de detección $TDF = \frac{TD}{TPT} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Implementación	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de implementación $\text{Implementación} = \frac{\text{N° de equipos instalados}}{\text{total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
3	DIMENSION 3: Monitoreo	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de Monitoreo $TF = \frac{\text{Número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
VARIABLE DEPENDIENTE: Confiabilidad de los Equipos								
1	DIMENSION 1: Disponibilidad Total	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{\text{total}} = \frac{\text{Total hrs prog.} - \text{hrs paradas por minuto}}{\text{total hrs programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Disponibilidad por averías	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{\text{averías}} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. / Mg: MARCIAL R. ZUÑIGA HUAYO DNI: _____
Especialidad del validador: ING. INDUSTRIAL

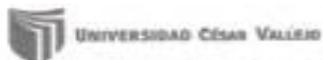
Lima, 11 de NOV del 2019

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Firma del Experto Informante.

Anexo N° 9. Juicio de expertos N° 2



CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

N°	DIMENSIONES / Items	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		SI	No	SI	No	SI	No	
VARIABLE INDEPENDIENTE: Mantenimiento Basado en Condiciones								
1	DIMENSION 1: Detección	SI	No	SI	No	SI	No	
	Tiempo de detección $TDF = \frac{TD}{TFD} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Implementación	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de implementación $\text{Implementación} = \frac{\text{E de cumplimiento}}{\text{total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
3	DIMENSION 3: Monitoreo	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de Monitoreo $TF = \frac{\text{Número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
VARIABLE DEPENDIENTE: Confiabilidad de los Equipos								
1	DIMENSION 1: Disponibilidad Total	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{total} = \frac{\text{Total Hrs prog.} - \text{Hrs paradas por averías}}{\text{total Hrs programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Disponibilidad por averías	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{avaria} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): si hay suficiencia

Opinión de aplicabilidad: Aplicable / Aplicable después de corregir / No aplicable

Apellidos y nombres del juez validador: Dr. / Mg. Ing. Carlos Borja Isales DNI: 41091024
 Especialidad del validador: Contador

Lima.....de.....del 201

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.
 Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.


 Firma del Experto Informante.

Anexo N° 10. Juicio de expertos N° 3



CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE:

N°	DIMENSIONES / Items	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		SI	No	SI	No	SI	No	
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Mantenimiento Basado en Condiciones							
1	DIMENSION 1: Detección	SI	No	SI	No	SI	No	
	Tiempo de detección $TDI = \frac{TD}{TPT} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Implementación	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de implementación $Implementación = \frac{V \text{ de cumplimiento}}{\text{total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
3	DIMENSION 3: Monitoreo	SI	No	SI	No	SI	No	
	Cumplimiento de Monitoreo $TF = \frac{\text{numero de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$	✓		✓		✓		
	VARIABLE DEPENDIENTE: Confiabilidad de los Equipos							
1	DIMENSION 1: Disponibilidad Total	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{total} = \frac{\text{Total hrs prog.} - \text{Hrs paradas por mantenimiento}}{\text{total hrs programadas}} \times 100$	✓		✓		✓		
2	DIMENSION 2: Disponibilidad por averías	SI	No	SI	No	SI	No	
	$D_{averia} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador, Dr. / Mg: Patricio Salazar Espinoza Francisco DNI: 02676261
 Especialidad del validador: Ingeniero en Electricidad

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del contrato.
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Lima, 23 de Noviembre del 2017

Firma del Experto Informante.

Anexo N° 11. Ficha técnica de cronómetro digital Casio HS-80TW

Fuente: <http://es.safe-manuals.com/user-manual/casio/hs-3v>

USER'S GUIDE HS-3(V) HS-6
CASIO®

HS-3(V)

HS-6

• A sticker is affixed to the glass of this stopwatch when you purchase it. Be sure to remove the sticker before using the stopwatch.

• Depending on the stopwatch model, the configuration of your stopwatch may differ somewhat from that shown in the illustration.

USING THE STOPWATCH

ⓐ Press this button to start and stop elapsed time measurement.

ⓑ Press this button while an elapsed time measurement is in progress to momentarily freeze a **SPLIT** or **LAP** time on the display (timing continues internally). Press again to display the ongoing time measurement. You can repeat the **LAP/SPLIT** time operation as many times you want. Pressing this button while elapsed time measurement is stopped resets the time to all zeros.

ⓒ Press this button to toggle between the **SPLIT** time mode and **LAP** time mode.

• The maximum elapsed time that can be measured is 9 hours, 59 minutes, 59.99 seconds.

A **SPLIT** is the time from the start of an event up to any specific point.
SPLIT

A **LAP** is the time for one segment (lap) of an event.
LAP

How to operate the stopwatch

• Normal time measurement

START 0 → a → **STOP** (a)

Press ⓐ. Press ⓐ. Press ⓑ to reset to zero.

• Net times (Accumulated time excluding loss time)

START 0 → a → **STOP** (a) → (Lost time) → **START** (a) → b → **STOP** (a+b)

Press ⓐ. Press ⓐ. Press ⓐ. Press ⓐ. Press ⓑ to reset to zero.

• SPLIT timing

START 0 → a → (a) → b → (a+b) → c → (a+b+c) → **STOP** (t)

SPLIT (a) → **SPLIT (a+b)** → **SPLIT (a+b+c)**

Press ⓐ in **SPLIT** mode. Press ⓑ to freeze **SPLIT** time (a). Press ⓑ to release. Press ⓑ to freeze **SPLIT** time (a+b). Press ⓑ to release. Press ⓐ. Press ⓑ to reset.

• 1st-2nd place times

START 0 → a → **SPLIT** (a) → **STOP** (b) → **SPLIT release** → **RESET**

Press ⓐ in **SPLIT** mode. Press ⓑ when the first runner (a) finishes. Press ⓐ when the second runner (b) finishes. Press ⓑ to display the time of the second runner. Press ⓑ to reset.

• LAP timing (Lap timing for each segment of an event)

START 0 → a → **STOP START** (a) → b → **STOP START** (b) → c → **STOP** (c)

Press ⓐ in **LAP** mode. Press ⓑ to freeze **LAP** time (a). Press ⓑ to release. Press ⓑ to freeze **LAP** time (b). Press ⓑ to release. Press ⓐ. Press ⓑ to reset.

1

Anexo N° 12. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Pre-Test

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Equipos Conformes	Total de Equipos	Inspección de Equipos
Agosto	SEMANA 1	3	8	39%
	SEMANA 2	3	8	38%
	SEMANA 3	3	8	39%
	SEMANA 4	3	8	38%
Setiembre	SEMANA 5	3	8	41%
	SEMANA 6	3	8	38%
	SEMANA 7	3	8	39%
	SEMANA 8	3	8	32%
Promedio				38%
INSPECCIÓN GENERAL		$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos		

Anexo N° 13. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Pre-Test

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		N° de Maquinas Predictivo	Total de Equipos	Implementacion de Equipos
Agosto	SEMANA 1	1	8	18%
	SEMANA 2	2	8	20%
	SEMANA 3	1	8	18%
	SEMANA 4	2	8	20%
Setiembre	SEMANA 5	2	8	20%
	SEMANA 6	1	8	18%
	SEMANA 7	2	8	20%
	SEMANA 8	2	8	20%
Promedio				19%
IMPLEMENTACION GENERAL		$\text{Implementación} = \frac{\text{N° de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$		

Anexo N° 14. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Pre-Test

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº de Equipos Monitoreado	Total de Equipos	Monitoreo de Equipos
Agosto	SEMANA 1	2	8	20%
	SEMANA 2	2	8	21%
	SEMANA 3	2	8	21%
	SEMANA 4	2	8	23%
Setiembre	SEMANA 5	2	8	21%
	SEMANA 6	2	8	23%
	SEMANA 7	2	8	23%
	SEMANA 8	2	8	21%
Promedio				22%
MONITOREO GENERAL		$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$		

Anexo N° 15. Ficha de detección de fallas Pre - Test

TIPO DE FALLAS	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		TOTAL FALLAS
	FALLAS	HORAS															
SISTEMA MECANICO	1	5.3	2	10.1	2	10.1	2	8.4	2	9.5	2	9.7	2	5.2	2	9.6	15
Desequilibrio entre Fases					1	5.2					1	4.3					
Fallo de Aislamiento	1	5.3							1	4.3					1	5.3	
Terminal Defectuoso			1	4.3			1	4.5					1	5.2			
Fuga de Aceite					1	4.9					1	5.4			1	4.3	
Desgaste Rotor			1	5.8					1	5.2							
Desgaste de Rodajes							1	3.9					1				
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	11	331.7	8	304.4	10	347.4	7	298.4	10	339	10	324.8	9	324	9	344.2	74
Rodamiento en mal Estado			2	58.7	1	36.2	1	35.7	2	68.2	2	61.3	2	68.3	2	66.3	
Desalineamiento de Eje	3	72.2	2	75.3	2	85.3			2	72.5	3	98.1	1	32.2	2	70.2	
Desequilibrio en Rotor	3	84	2	78.3	2	69.4	2	91.8	3	90.1	2	65.3	2	68.2	1	48.2	
Acoplamiento Dañado	3	77	1	58	3	74.1	2	80.6			2	63.5	2	61.1	2	67.2	
Recalentamiento del Motor	2	98.5	1	34.1	2	82.4	2	90.3	3	108.2	1	36.6	2	94.2	2	92.3	
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	1	5.5	1	6.3	1	5.5	2	11.3	2	9.8	0	0	1	5.4	1	5.1	9
Terminal Defectuoso			1	6.3			1	5.9							1	5.1	
Desalineamiento en asiento de valvula	1	5.5			1	5.5			1	4.5			1	5.4			
Desgaste de Empaquetadura							1	5.4	1	5.3							
SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	0	0	1	3.5	1	4.5	0	0	1	0	1	2	1	4.6	2	6.6	7
Cabeza de Piston Dañados			1	3.5					1				1	4.6	1	4.6	
Refrigeración Inadecuado					1	4.5					1	2			1	2	
Total General	13	342.5	12	324.3	14	367.5	11	318.1	15	358.3	13	336.5	13	339.2	14	365.5	105

Anexo N° 16. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – confiabilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMCI
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Confiabilidad Total	
Agosto	SEMANA 1	343	13	103	26	79.69%
	SEMANA 2	324	12	112	27	80.56%
	SEMANA 3	368	14	96	26	78.53%
	SEMANA 4	318	11	122	29	80.86%
Setiembre	SEMANA 5	358	15	90	24	78.95%
	SEMANA 6	337	13	103	26	79.98%
	SEMANA 7	339	13	103	26	79.85%
	SEMANA 8	366	14	96	26	78.62%
Promedio						79.6%
CONFIABILIDAD		$C = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>C: Confiabilidad MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar</p>				<input type="text"/>

Anexo N° 17. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – disponibilidad

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				TAMCI
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa	TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Disponibilidad Total	
Agosto	SEMANA 1	343	13	103.4	26.3	74.52%
	SEMANA 2	324	12	112.0	27.0	75.87%
	SEMANA 3	368	14	96.0	26.3	72.66%
	SEMANA 4	318	11	122.2	28.9	76.33%
Setiembre	SEMANA 5	358	15	89.6	23.9	73.34%
	SEMANA 6	337	13	103.4	25.9	74.96%
	SEMANA 7	339	13	103.4	26.1	74.76%
	SEMANA 8	366	14	96.0	26.1	72.81%
Promedio						74.4%
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ <p>MTBF :Tiempo Medio entre Fallas</p>				
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ <p>MTTR : Tiempo Medio para Reparar</p>				
DISPONIBILIDAD		$D_{Averia} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$ <p>MTBF :Tiempo Medio entre Fallas MTTR : Tiempo Medio para Reparar</p>				

Anexo N° 18. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – MTBF

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMCf
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL	PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN	POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)		
Agosto	SEMANA 1	342.5	13	103	
	SEMANA 2	324.3	12	112	
	SEMANA 3	367.5	14	96	
	SEMANA 4	318.1	11	122	
Setiembre	SEMANA 5	358.3	15	90	
	SEMANA 6	336.5	13	103	
	SEMANA 7	339.2	13	103	
	SEMANA 8	365.5	14	96	
Promedio				103.24	
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ MTBF :Tiempo Medio entre Fallas			

Anexo N° 19. Ficha resumida de recolección de datos Pre-Test – MTTR

ANTAPACCAY		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD			TAMCf
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL					
Empresa	TAMCI SRL	PRE-TEST	Total de maquinas	8	
Área	FLOTACIÓN	POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344	
SEMANA	N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio para Reparar (HRS)		
Agosto	SEMANA 1	343	13	26.3	
	SEMANA 2	324	12	27.0	
	SEMANA 3	368	14	26.3	
	SEMANA 4	318	11	28.9	
Setiembre	SEMANA 5	358	15	23.9	
	SEMANA 6	337	13	25.9	
	SEMANA 7	339	13	26.1	
	SEMANA 8	366	14	26.1	
Promedio				26.3	
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ MTTR : Tiempo Medio para Reparar			

Anexo N° 20. Fotos antes de la mejora



✓ Dificultad en el desmontaje de la Celda



✓ Dificultad en el traslado de herramientas



✓ Dificultad en el traslado de herramientas



✓ Contratiempos debido a Tormentas Eléctricas



✓ Desmontaje de Celda de flotación



✓ Falta de mantenimiento Predictivo



✓ Falta de Técnicas de medición



✓ Falta de técnicas de medición



✓ Fallas de Motores y desalineamiento



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos



✓ Excesiva vibración y ruptura de rodamientos

Anexo N° 21. Solicitud de información contable dirigido a TAMCI SRL

Solicitud de Información Contable

Lima, 15 de abril de 2019

Señor
Marco Rojas H.
Gerente General |
TAMCI SRL

Ref. Solicitud de Información con fines Académicos; Desarrollo de Tesis: Aplicación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones para mejorar la Confiabilidad de los Equipos en el Área de Flotación de una Compañía Minera, Perú 2019.

Apreciado señor:

Por medio de la presente abajo firmante David Huillca Canales, identificado con DNI 46736498 y Nancy Suzanibar Maurate, identificada con 70303263, me permito presentar una solicitud de Acceso a Información Contable con el único propósito de evidenciar información fidedigna para Desarrollo de Tesis.

De igual manera, declaro que acepto las condiciones establecidas en los términos de Política Interna de la empresa.

Coordialmente,



David Huillca C.
DNI: 46736498



Nancy Suzanibar M.
DNI: 70303263

Anexo N° 22. Respuesta de TAMCI SRL de información contable



Señores:
David Huilca C.
Nancy Suzanibar M.

De acuerdo a la solicitud enviada por usted le informamos que TAMCI SRL, está presto a colaborar con sus colaboradores dando información general, mas no detallada de la parte contable como lo son mostrar libros y documentos que a nuestro criterio y políticas son confidenciales.

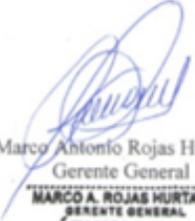
Se adjunta de manera general los montos del mes de Agosto – Setiembre de los equipos de Celda de Flotación.

Item	Equipos	Costo de Mantenimiento	
		Agosto	Setiembre
1	Celda de Flotación 1	S/. 4'320.00	S/. 4'430.00
2	Celda de Flotación 2	S/. 4'410.00	S/. 4'300.00
3	Celda de Flotación 3	S/. 4'310.00	S/. 4'250.00
4	Celda de Flotación 4	S/. 4'350.00	S/. 4'480.00
5	Celda de Flotación 5	S/. 4'370.00	S/. 4'360.00
6	Celda de Flotacion 6	S/. 4'460.00	S/. 4'290.00
7	Celda de Flotacion 7	S/. 4'420.00	S/. 4'410.00
8	Celda de Flotacion 8	S/. 4'310.00	S/. 4'320.00

Se expide el presente documento, a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

Lima, 04 de Octubre de 2019

Atentamente:


Marco Antonio Rojas Hurtado
Gerente General
MARCO A. ROJAS HURTADO
GERENTE GENERAL
TAMCI S.R.L.
Marco Rojas H...
DNI: 42527971

Anexo N° 23. Respuesta de TAMCI SRL de información contable



Señores:

David Huillca C.

Nancy Suzanibar M.

De acuerdo a la solicitud enviada por usted le informamos que TAMCI SRL, está presto a colaborar con sus colaboradores dando información general, mas no detallada de la parte contable como lo son mostrar libros y documentos que a nuestro criterio y políticas son confidenciales.

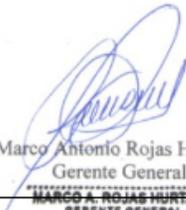
Se adjunta de manera general los montos luego de aplicación de la Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones, obtenidos de los meses de Octubre – Noviembre.

Item	Equipos	Costo de Mantenimiento Predictivo	
		Octubre	Noviembre
1	Celda de Flotación 1	S/. 3'103.00	S/. 2'530.00
2	Celda de Flotación 2	S/. 3'280.00	S/. 2'350.00
3	Celda de Flotación 3	S/. 3'175.00	S/. 2'420.00
4	Celda de Flotación 4	S/. 3'010.00	S/. 2'475.00
5	Celda de Flotación 5	S/. 3'003.00	S/. 4'390.00
6	Celda de Flotación 6	S/. 3'006.00	S/. 2'550.00
7	Celda de Flotación 7	S/. 3'100.00	S/. 2'410.00
8	Celda de Flotación 8	S/. 3'012.00	S/. 2'425.00

Se expide el presente documento, a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

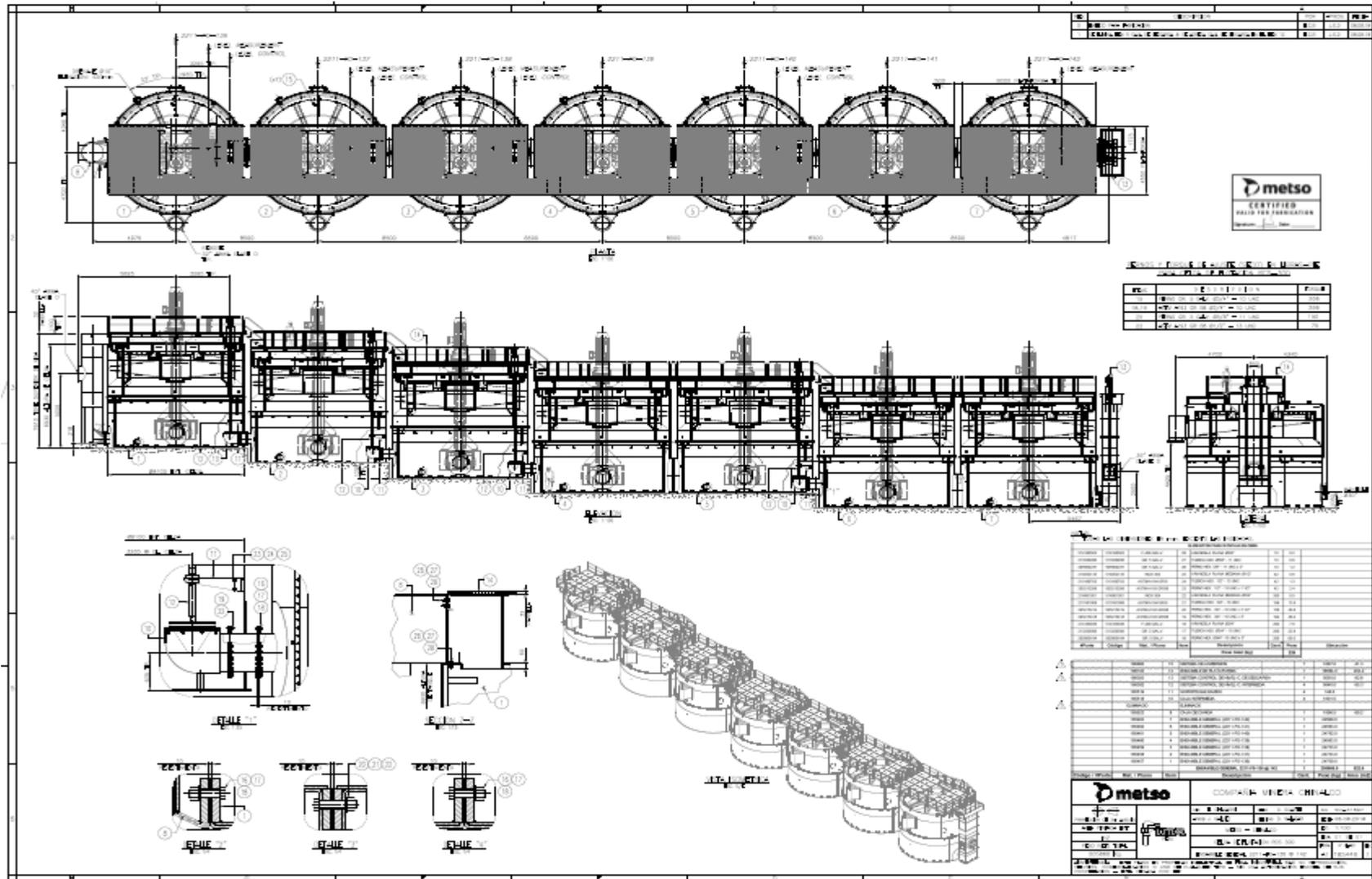
Lima, 01 de diciembre de 2019

Atentamente:


Marco Antonio Rojas Hurtado
Gerente General

MARCOS A. ROJAS HURTADO
GERENTE GENERAL
TAMCI S.R.L.
Marco Rojas H.
DNI: 42527971

Anexo N° 24. Plano de celda de flotación



Anexo N° 25. Fotos tras la implementación del CBM

Implementación del Mantenimiento Basado en Condiciones.



Registro y codificación de equipos



Listado de Funciones y Especificaciones.





Determinación de Fallos Funcionales y Técnicos



Determinación de los Modos de Fallo





Análisis de la Gravedad de los Fallos. Criticidad



Determinación de Medidas Preventivas



Obtención del Plan De Mantenimiento y Agrupación de Medidas Preventivas.



Puesta en Marcha de las Medidas Preventivas

Anexo N° 26. Ficha resumida de recolección de datos de inspección Post-Test

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Equipos Conformes	Total de Equipos	Inspección de Equipos
Octubre	SEMANA 9	6	8	80%
	SEMANA 10	7	8	82%
	SEMANA 11	7	8	82%
	SEMANA 12	7	8	84%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	84%
	SEMANA 14	7	8	84%
	SEMANA 15	7	8	86%
	SEMANA 16	7	8	86%
Promedio				83%
INSPECCIÓN GENERAL		$IG = \frac{EC}{TE} \times 100$ EC= Equipos Conformes TE= Total de Equipos		

Anexo N° 27. Ficha resumida de recolección de datos de implementación Post-Test

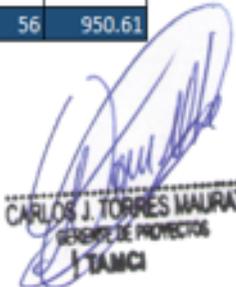
 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº Maquinas Predictivas	Total de Equipos	Implementacion de Equipos
Octubre	SEMANA 9	7	8	86%
	SEMANA 10	7	8	84%
	SEMANA 11	7	8	86%
	SEMANA 12	7	8	84%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	84%
	SEMANA 14	7	8	86%
	SEMANA 15	7	8	86%
	SEMANA 16	7	8	89%
Promedio				85%
IMPLEMENTACION GENERAL		$\text{Implementación} = \frac{\text{Nº de maquinas a predictivo}}{\text{total de maquinas}} \times 100$		

Anexo N° 28. Ficha resumida de recolección de datos de monitoreo Post-Test

 VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIONES 				
Empresa		TAMCI SRL		
Área		FLOTACIÓN		
SEMANA		Nº de Equipos Monitoreados	Total de Equipos	Monitoreo de Equipos
Octubre	SEMANA 9	7	8	86%
	SEMANA 10	7	8	86%
	SEMANA 11	7	8	88%
	SEMANA 12	7	8	86%
Noviembre	SEMANA 13	7	8	88%
	SEMANA 14	7	8	88%
	SEMANA 15	7	8	88%
	SEMANA 16	7	8	86%
Promedio				87%
MONITOREO GENERAL		$TF = \frac{\text{número de equipos monitoreados}}{\text{Total de equipos}} \times 100$		

Anexo N° 29. Cronograma de fallas Post_Test

TIPO DE FALLAS	SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7		SEMANA 8		TOTAL FALLAS	TOTAL HORAS
	FALLAS	HORAS																
SISTEMA MECANICO	1	4.8	1	6.5	2	10.7	2	10.81	3	21.7	1	6.2	2	9.4	1	7.2	13	77.31
Desequilibrio entre fases							1	6.5	1	7.5								
Fallo de aislamiento											1	6.2						
Terminal defectuoso			1	6.5	1	6.5			1	6.2			1	4.2	1	7.2		
Fuga de Aceite							1	4.3										
desgaste rotor	1	4.8											1	5.2				
desgaste de rodajes					1	4.2			1	8								
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	6	109	5	140.2	3	116.1	3	85.4	3	82.2	4	86.1	3	85.3	4	112.6	31	816.9
Rodamiento en mal estado			1	35.6	1	37.3			1	21.4			1	28.2	1	26.5		
Desalineamiento de eje	2	42.3	1	22.3	1	36.5					2	38.2	1	33.7	1	25.4		
Desequilibrio en Rotor	2	32.2	1	34.5	1	42.3	1	49.2							1	27.3		
Acoplamiento Dañado	2	34.5	1	26.3			1		1	28.3	1	22.4	1	23.4				
Recalentamiento del motor			1	21.5			1	36.2	1	32.5	1	25.5			1	33.4		
SISTEMA DE INGRESO DE AIRE	1	6.5	0	0	1	5.8	1	6.3	1	4.2	1	4.2	1	4.5	1	6.5	7	38
terminal defectuoso					1	5.8	1	6.3					1	4.5				
desalineamiento en asiento de valvula	1	6.5									1	4.2			1	6.5		
Desgaste de Empaquetadura									1	4.2								
SISTEMA DE CONTROL DE NILVEL	0	0	0	0	1	2	0	0	1	6.2	1	2	1	2	1	6.2	5	18.4
Cabeza de piston dañados									1	6.2					1	6.2		
Refrigeración inadecuada					1	2					1	2	1	2				
Total General	8	120.3	6	146.7	7	134.6	6	102.5	8	114.3	7	98.5	7	101.2	7	132.5	56	950.61


CARLOS J. TORRES MAURATE
 GERENTE DE PROYECTOS
 ITAMCI

Anexo N° 30. Ficha resumida de recolección de datos de confiabilidad Post-Test

		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				
Empresa		TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área		FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Confiabilidad Total
Octubre	SEMANA 9	120	8	168	15	91.78%
	SEMANA 10	147	6	224	24	90.16%
	SEMANA 11	135	7	192	19	90.90%
	SEMANA 12	103	6	224	17	92.91%
Noviembre	SEMANA 13	114	8	168	14	92.16%
	SEMANA 14	99	7	192	14	93.17%
	SEMANA 15	101	6	224	17	93.00%
	SEMANA 16	133	7	192	19	91.03%
Promedio						92%
CONFIABILIDAD		$C = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>C: Confiabilidad MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio para Reparar</p>				

Anexo N° 31. Ficha resumida de recolección de datos de disponibilidad Post-Test

		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa		TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área		FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Tiempo Medio para Reparar (HRS)	Disponibilidad Total
Octubre	SEMANA 9	120	8	168	15	91.05%
	SEMANA 10	147	6	224	24	89.08%
	SEMANA 11	135	7	192	19	89.99%
	SEMANA 12	103	6	224	17	92.37%
Noviembre	SEMANA 13	114	8	168	14	91.50%
	SEMANA 14	99	7	192	14	92.67%
	SEMANA 15	101	6	224	17	92.47%
	SEMANA 16	133	7	192	19	90.14%
Promedio						91.2%
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas}}{\text{Total de Averias}}$ <p>MTBF : Tiempo Medio entre Fallas</p>				
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ horas de paro por averia}}{\text{total de Averias}}$ <p>MTTR : Tiempo Medio para Reparar</p>				
DISPONIBILIDAD		$D_{Averia} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$ <p>MTBF : Tiempo Medio entre Fallas MTTR : Tiempo Medio para Reparar</p>				

Anexo N° 32. Ficha resumida de recolección de datos de MTBF Post-Test

		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa		TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área		FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)		
Octubre	SEMANA 9	120.3	8	168.0		
	SEMANA 10	146.7	6	224.0		
	SEMANA 11	134.6	7	192.0		
	SEMANA 12	102.5	6	224.0		
Noviembre	SEMANA 13	114.3	8	168.0		
	SEMANA 14	98.5	7	192.0		
	SEMANA 15	101.2	6	224.0		
	SEMANA 16	132.5	7	192.0		
Promedio					198.0	
MTBF		$MTBF = \frac{N^{\circ}horas}{Total\ de\ Averias}$ MTBF :Tiempo Medio entre Fallas				

Anexo N° 33. Ficha resumida de recolección de datos de MTTR Post-Test

		VARIABLE DEPENDIENTE: CONFIABILIDAD				
DIMENSIÓN 1: DISPONIBILIDAD TOTAL						
Empresa		TAMCI SRL		PRE-TEST	Total de maquinas	8
Área		FLOTACIÓN		POST_TEST	Hrs Totales / sem.	1344
SEMANA		N° de horas de paros por averia (HRS)	Total de Averias	Tiempo Medio para Reparar (HRS)		
Octubre	SEMANA 9	120	8	15.0		
	SEMANA 10	147	6	24.5		
	SEMANA 11	135	7	19.2		
	SEMANA 12	103	6	17.1		
Noviembre	SEMANA 13	114	8	14.3		
	SEMANA 14	99	7	14.1		
	SEMANA 15	101	6	16.9		
	SEMANA 16	133	7	18.9		
Promedio					17.5	
MTTR		$MTTR = \frac{N^{\circ}horas\ de\ paro\ por\ averia}{total\ de\ Averias}$ MTTR : Tiempo Medio para Reparar				

Anexo N° 34. Normas operativas ante tormentas eléctricas

NORMA OPERATIVA		
Fecha de Elaboración: 05/12/2014	Código: TAN-NOP-IRR-008	Page 1 of 15
Fecha de Revisión: 15/02/2018	Versión: 04	
PROCEDIMIENTO ANTE TORMENTAS ELECTRICAS		

OBJETIVO

Minimizar la ocurrencia de incidentes que afecten la integridad de las personas, equipos, como consecuencia de la presencia de condiciones climatológicas adversas, mediante el establecimiento del proceso de detección de tormentas eléctricas y alerta para la implementación de controles o medidas preventivas adecuadas.

I. ALCANCE

Este procedimiento aplica a las operaciones y proyectos de Compañía Minera Antapaccay S.A. incluyendo al personal propio, contratista y visitante que se encuentre dentro de las instalaciones.

II. DEFINICIONES Y CLASIFICACIONES

3.1 DEFINICIONES Ver Anexo 2

3.1.1 Aviso de Alerta: Aviso para comunicar sobre posibles condiciones de riesgo, en función a la cual deben tomarse ciertas medidas preventivas.

3.1.2 Sistemas de Advertencia: Son aquellas que nos indican la presencia de tormentas eléctricas y están ubicados conjuntamente con los Sensores de Detección de Tormentas Eléctricas. Estos sistemas son:

- Visuales (Baliza Roja = Alerta Roja y Baliza Ámbar = Alerta Naranja).
- Alarmas Sonoras (Sirenas electromecánicas)

3.1.3 Detectores de Tormentas Eléctricas Principales: Equipos que conforman el sistema principal de detección de tormentas eléctricas de Antapaccay y permiten alertar y gestionar las condiciones climatológicas adversas. Estos detectores están distribuidos estratégicamente en la operación y son administrados por el Centro de Control Integral (CCI) de la Gerencia de Riesgos y Protección de Activos.

3.1.4 Detectores de Tormentas Eléctricas Portátiles: Equipos portátiles de detección de tormentas eléctricas aprobados por la Gerencia de Riesgos y Protección de Activos la misma que impartirá el entrenamiento en el uso de los mismos. Las áreas individuales podrán usar estos equipos con la autorización de la Gerencia de Riesgos y Protección de Activos en los lugares que estén fuera de las zonas de influencia de los sensores del sistema principal de tormentas eléctricas de Antapaccay.

3.1.5 Rayo: Es una poderosa descarga natural de electricidad estática, producida durante una tormenta eléctrica.

3.1.6 Tormenta: Perturbación atmosférica violenta acompañada de fenómenos eléctricos y vientos fuertes, lluvia, granizo o nubes densas oscuras.

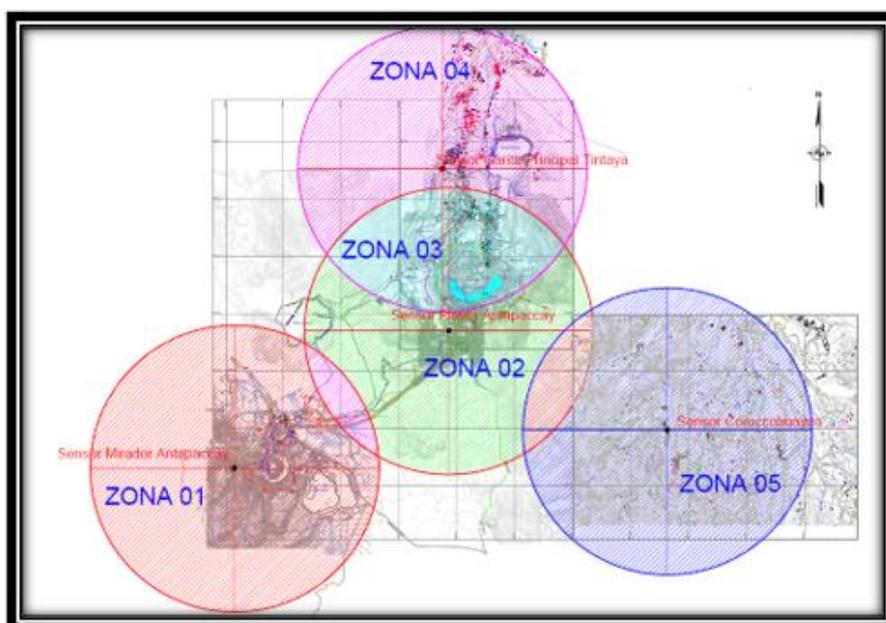
3.1.7 Relámpago: Resplandor vivísimo e instantáneo producido en las nubes por una descarga eléctrica.

3.1.8 Trueno: Estruendo, asociado al rayo, producido en las nubes por una descarga eléctrica.

3.1.9 Refugio: Es un ambiente natural o artificial que sirve para proteger al personal, diseñado de acuerdo a los estándares de Antapaccay. Los equipos móviles

NORMA OPERATIVA		 ANTAPACCAY Page 5 of 15
Fecha de Elaboración: 05/12/2014	Código: TAN-NOP-IRR-008	
Fecha de Revisión: 15/02/2018	Versión: 04	

PROCEDIMIENTO ANTE TORMENTAS ELÉCTRICAS



Instalaciones de cobertura de sensor ZONA 1	Instalaciones de cobertura de sensor ZONA 2
Taller Mantenimiento (Truck Shop)	Espesador de relaves Antapaccay
Taller de distribución de energía	Planta Concentradora de Antapaccay
Taller de drenaje Mina	Balanza de Antapaccay
Chancadora primaria	Faja Transportadora (Cabeza)
Oficinas Mina e Ingeniería Mina	Main Office Antapaccay
Polvorín Antapaccay	Presas Huinipampa
Cancha de Nitrato	Antenas de Condorsayana
Tajo Sur de Antapaccay	
Botadero Sur de Antapaccay	Instalaciones de cobertura de sensor ZONA 4
Grifo de Antapaccay	Campamento N° 2 y 3
Posta Médica de Truck Shop	Presas de Relaves Camacmayo
Faja transportadora chancado primario	Río Salado (Casa de Bombas)
Cruce vía: Carretera Integrac./ Ingreso faja transp.	Taller de camionetas Mitsui
Instalaciones de cobertura de sensor ZONA 3	Garita salida a Tintaya marquiri
Relavera Tintaya (ex tajo Tintaya)	Sub Estación Eléctrica Campamento Tintaya
Botadero Central	Fundación Tintaya
Botadero Magaño	Tintaya Marquiri
Planta de Oxidos	Instalaciones de cobertura de sensor ZONA 5
Hospital	Proyecto Coroccohuayco
Oficinas de Ingeniería	