



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ALTERNO DE MANTENIMIENTO
PARA LOS EQUIPOS DE PROCESAMIENTO MINERO EN LA CANTERA
SAN JOAQUÍN 2 DE LA EMPRESA MAPEAGRE CÍA. LTDA.”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Industrial

Autores:

Ruiz Naranjo Rosa Angélica

López Auquilla Viviana Marcela

Tutor:

Ing. MSc. Tello Cóndor Ángel Marcelo

Latacunga - Ecuador

Agosto 2017



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Rosa Angélica Ruiz Naranjo y Viviana Marcela López Auquilla con el título de Proyecto de titulación: “Implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 24 de julio del 2017

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Milton Eduardo Herrera Tapia

CC: 050150331-2

Lector 2

Nombre: Ing. Edison Patricio Salazar Cueva

CC: 050184317-1

Lector 3

Nombre: Ing. Yadira Araceli Herrera Martínez

CC: 050290485-7

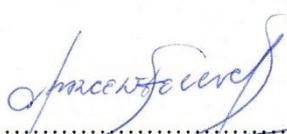


AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.”, de Rosa Angélica Ruiz Naranjo y Viviana Marcela López Auquilla, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 10 de Julio del 2017


.....
Ing. MSc. Ángel Marcelo Tello Córdor
C.C. 050151855-9



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Rosa Angélica Ruiz Naranjo y Yo, Viviana Marcela López Auquilla declaramos ser autoras de la presente Propuesta Tecnológica: “Implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.”, siendo el Ing. MSc. Ángel Marcelo Tello Córdor tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Rosa Angélica Ruiz Naranjo
C.C. 172305165-0

.....
Viviana Marcela López Auquilla
C.C. 060392663-5

DECLARACIÓN ACUERDOS**A.- DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI****Carta Compromiso**

Quienes suscriben la presente carta se comprometen a ejecutar, desarrollar y finalizar el proyecto "Implementación del sistema alterno de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda." en cada uno de sus objetivos y acciones descritos, a fin de lograr el objetivo y los beneficios propuestos para la **Cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.**, así como elaborar y avalar los informes de avances y dar a conocer las conclusiones del mismo en los tiempos y formas en que se le requieran.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente;

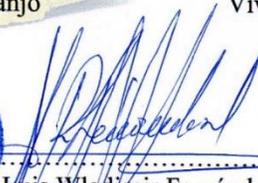


Rosa Angélica Ruiz Naranjo
C.I. 172305165-0



Viviana Marcela López Auquilla
C.I. 060392663-5




Ing. Luis Wladimir Fernández Acosta
GERENTE GENERAL MAPEAGRE Cía. Ltda.
1707249114

MINA SAN JOAQUIN
FERNANDEZ ACOSTA LUIS WLADIMIR
RUC: 1707249114001


Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Ph.D.
TUTOR DE PROYECTO
C.I. 1712813

Oficina: Calle Iglesias N° 51- 23 y González Suárez
Telefax: (02) 287 – 8451
e-mail: wladifer@canterasanjaquin.com

Amaguaña - Ecuador

Cantera: Lasso, El Chasquí, Barrio Sta. Rita
(Ingreso al Parque Nacional Cotopaxi) Km 1 ½
Telf.: 099 970 8663 / 099 852 3535 / 099 832 3046
e-mail: ramifer@canterasanjaquin.com

Latacunga - Ecuador

AVAL DE PROPUESTA TECNOLÓGICA**A.- DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

Quien suscribe.

Ing. Luis Wladimir Fernández Acosta

GERENTE GENERAL DE LA EMPRESA MAPEAGRE CIA. LTDA

Emito el presente aval de conformidad relacionado con la propuesta tecnológica titulada: **“Implementación del sistema alterno de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.”**; presentada por las estudiantes **Rosa Angélica Ruiz Naranjo y Viviana Marcela López Auquilla**.

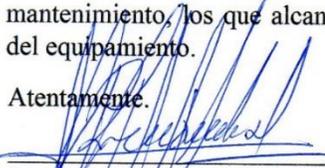
El avance en tecnología de materiales, junto con el desarrollo en diseño e ingeniería, han traído consigo mejoras en la eficiencia y vida útil de los equipos mineros, así como en la accesibilidad a las piezas clave para poder realizar las tareas de mantenimiento y reparación rápida y fácilmente. Sin embargo, a pesar del óptimo diseño de los equipos las extremas condiciones de trabajo presentes en las minas y canteras implican que siempre estarán sometidos al desgaste y deterioro, por lo que resulta significativo tener estrategias de mantenimiento adecuadas.

En la propuesta tecnológica, las autoras reflejan fielmente los factores negativos que influyen en la operación eficiente de los equipos de procesamiento minero de la cantera, dando como propuesta la consideración de criterios de mantenimiento adecuados a nivel de máquinas y de elementos, lo que incide considerablemente en los indicadores técnicos-económicos, por lo que se busca la mejora en la organización de las actividades del mantenimiento.

En el trabajo se realiza un análisis objetivo relacionado a la evaluación del estado actual del equipamiento minero. Sobre la base del análisis realizado se propone la implementación del sistema alterno de mantenimiento, adecuado según los historiales de falla de los equipos y los impactos generados por estas. Las estudiantes realizaron los estudios de campo y documentales necesarios para la adecuación de la estructura de mantenimiento propuesta.

Como resultado de aporte se muestra el estudio de fiabilidad de las máquinas y sus elementos, lo que facilita la predicción de fallas en el tiempo de trabajo de las máquinas. Con la implementación de los resultados de la propuesta tecnológica se incidirá directamente en la disminución de los costos de mantenimiento, los que alcanzan un monto de 11019,68 \$/año, mejorándose la disponibilidad técnica del equipamiento.

Atentamente.


Ing. Luis Wladimir Fernández Acosta
C.I.: 1707249114



Dado en: Lasso - Cotopaxi - Ecuador

10 de julio de 2017

Oficina: Calle Iglesias N° S1- 23 y González Suárez

Telefax: (02) 287 – 8451

e-mail: wladifer@canterasanjoaquin.com

Amaguaña - Ecuador

Cantera: Lasso, El Chasqui, Barrio Sta. Rita

(Ingreso al Parque Nacional Cotopaxi) Km 1 ½

Telf.: 099 970 8663 / 099 852 3535 / 099 832 3046

e-mail: ramifer@canterasanjoaquin.com

Latacunga - Ecuador

AGRADECIMIENTO

Primeramente le doy mis infinitas gracias a Dios, por protegerme durante todo mi camino ya que sin su voluntad nada de esto sería posible.

Agradezco también a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso.

A nuestro cotutor Ph.D. Héctor Laurencio, por su generosidad al darnos la oportunidad de contar con su experiencia científica y conocimientos, por su tiempo, paciencia, consejos y por permitirnos trabajar en un marco de confianza y libertad fundamentales para la realización de este trabajo y para nuestra formación profesional.

Al Ing. MSc. Marcelo Tello por su valioso tiempo y colaboración como tutor en la realización de esta propuesta.

Muchas gracias a MAPEAGRE Cía. Ltda. en especial a los ingenieros Wladimir Fernández y Ramiro Fernández, por facilitarnos la información necesaria para realizar esta propuesta tecnológica en la cantera San Joaquín 2 y permitirnos trabajar en un ambiente cálido y alegre.

Rosita

DEDICATORIA

Dedico esta propuesta tecnológica a mi padre, amigo y confidente, Ramiro Fernández, mi Amushi, por creer siempre en mí, porque en gran parte gracias a él, hoy puedo ver alcanzada mi meta, por siempre tener un consejo, un abrazo, una mirada y una palabra precisa en los momentos más difíciles de mi carrera y de mi vida, porque el orgullo que siente por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Este triunfo es el resultado de todo lo que me ha enseñado, ya que siempre ha sido una persona honesta, justa, entregada a su trabajo y un gran líder, pero más que todo eso, es una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfador. Es por eso que hoy le dedico mi proyecto de titulación, por lo que vale y por lo que ha hecho de mí.

A mi madre, Nalda Naranjo, por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos que más la necesité, siendo mi pilar y fortaleza siempre.

A mis hermanas Alejandra y María Belén, que a pesar de la distancia siempre con su amor me han enseñado a salir adelante. Por estar en otro momento importante de mi vida.

A mi futuro esposo Héctor, por todo su amor y respaldo, que han sido fundamentales para culminar esta meta. Por llegar a mi vida y enseñarme que siempre hay una luz al final del camino mientras caminemos juntos.

A Evelin Loor a quien quiero con toda el alma, y que me ha demostrado mil veces que la distancia no debilita una amistad.

Y a mi amiga y compañera de esta propuesta, Viviana López quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo, por los buenos y malos momentos y por anhelar y perseguir el mismo sueño juntas.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haber aceptado ser parte de ella y poder estudiar mi carrera y así también a los diferentes docentes que me brindaron su conocimiento para seguir adelante.

Agradezco a mi tutor inicial de la propuesta tecnológica al Ph.D Héctor Laurencio por brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos, así como también el tenernos paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la propuesta tecnológica

Agradezco a mi tutor de la propuesta tecnológica al Ing. Marcelo Tello por ofrecer su colaboración durante la realización de esta investigación.

Mi agradecimiento también va dirigido al gerente de la Cantera San Joaquín 2 Ing. Wladimir Fernández por haber aceptado que se realice nuestra propuesta tecnológica en su prestigiosa empresa y al Ing. Ramiro Fernández por apoyarnos y facilitarnos información para que realicemos nuestra investigación.

DEDICATORIA

Esta propuesta tecnológica se la dedico a Dios por haberme dado la vida, la voluntad y la oportunidad de estudiar.

A mi madre María Auquilla por estar siempre a mi lado cuando más la necesito, en los malos y buenos momentos de mi vida, por mostrarme a cada momento su apoyo incondicional, el interés para que estudie y me desarrolle intelectualmente, gracias por mostrarme que todo lo que me propongo lo puedo lograr con esfuerzo y dedicación sin importar el tiempo que me tome.

A mi hija Kerlly Tercero López que forma parte en toda esta travesía apoyándome e incentivándome con sus ocurrencias para que siga adelante y no desmaye, es mi gran orgullo y gran motivación, libera mi mente de todas las adversidades que se me presentan, me impulsa a cada día superarme para ofrecerle siempre lo mejor, no es fácil lo sé, pero talvez si no la tuviera, mi vida sería un desastre.

A una persona especial Andrés Tapia que ha formado parte de mi vida por apoyarme en esos momentos duros que he pasado y sé que si estuviera en sus manos me ayudara aún más, me ha brindado su amistad y comprensión, gracias por su amor incondicional y por su ayuda.

A mi amiga Rosita Ruiz que es mi confidente, que lo que nos propusimos lo logramos no fue fácil pero lo conseguimos, gracias al equipo que formamos logramos llegar al final del camino propuesto.

A mi hermano Luis López porque a pesar de la distancia y el tiempo siempre hemos compartido experiencias y recuerdos que estarán presentes en mi vida, recordándome que siempre podré contar con él.

Viviana

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. BENEFICIARIOS	3
5. EL PROBLEMA	4
6. OBJETIVOS	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	4
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	5
8.1. Generalidades de la Cantera San Joaquín 2	6
8.1.1. Ubicación	6
8.1.2. Misión	7
8.1.3. Visión	7
8.1.4. Capacidad de producción	7
8.2. Breve descripción del sistema de explotación	8
8.3. Descripción del flujo tecnológico del procesamiento minero del material pétreo	8
8.4. Clasificación y evolución del mantenimiento industrial	10
8.5. Gestión y planificación del mantenimiento	12
8.5.1. Ciclo de mantenimiento	12
8.6. Estado Técnico	13
8.7. Sistema alternativo de mantenimiento (SAM)	14
8.7.1. Procedimiento para la implementación del (SAM)	15
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	15
10. METODOLOGÍAS	16
10.1. Características técnicas de los equipos de procesamiento minero	16

10.2. Método para el diagnóstico y planificación de la gestión del sistema alternativo de mantenimiento (SAM)	20
10.3. Metodología para análisis de criticidad.....	21
10.3.1. Procedimiento para realizar un análisis de criticidad.....	21
10.4. Criterio de selección del tipo de mantenimiento a nivel de máquina	24
10.5. Determinación del estado técnico en mantenimiento preventivo planificado	26
10.5.1. Determinación del tiempo real de operación (HROP)	27
10.5.2. Determinación de la cantidad de fallas (NTMC)	27
10.5.3. Tiempo de eliminación de las fallas o por acciones de mantenimiento programado (HTMC).....	28
10.5.4. Tiempo medio entre fallas.....	28
10.5.5. Tiempo medio para la reparación.....	28
10.5.6. Disponibilidad de equipos.....	28
10.5.7. Duración del ciclo de reparación.....	29
10.5.8. Determinación del tiempo entre operaciones del ciclo	29
10.5.9. Cálculo del tiempo entre reparaciones	29
10.5.10. Criterio de confiabilidad.....	30
10.6. Costo de la actividad de mantenimiento	30
10.6.1. Costo de mantenimiento por facturación y eliminación de fallas	30
10.7. Cálculo de la frecuencia de inspección del mantenimiento predictivo	31
10.7.1. Factor de costo.....	31
10.7.2. Factor de Falla	31
10.7.3. Factor de Ajuste.....	32
10.8. Herramientas, técnicas e instrumentos.....	32
10.8.1. Características de software mantenimiento 3000 de Cea Ordenadores.....	33
11. RESULTADOS	34

11.1. Desarrollo de la propuesta y análisis de la aplicación del procedimiento de implementación del sistema alternativo de mantenimiento (SAM) en la cantera San Joaquín 2.	34
11.1.1. Fase No. 1: Inicio.	34
11.1.1.1. Etapa 1. Conformación del equipo de trabajo.	34
11.1.2. Fase No. 2: Diagnóstico de la gestión de mantenimiento	35
11.1.2.1. Etapa 2. Caracterización del área de mantenimiento en la empresa	35
11.1.2.2. Etapa 3. Diagnóstico y planificación de la gestión del mantenimiento	37
11.1.2.3. Análisis de resultados del diagnóstico y planificación del mantenimiento	40
11.1.3. Fase No. 3: Análisis de criticidad del equipamiento	41
11.1.3.1. Etapa 4. Clasificación del equipamiento y determinación del subsistema de mantenimiento	43
11.1.4. Fase No. 4: Organización, planificación y gestión del mantenimiento con el SAM en la cantera San Joaquín 2.	44
11.1.4.1. Etapa 5. Organización del sistema de mantenimiento predictivo o por diagnóstico ..	44
11.1.4.2. Etapa 6. Organización del Sistema de mantenimiento preventivo planificado	46
11.1.4.3. Etapa 7. Organización del sistema de mantenimiento correctivo	47
11.1.4.4. Etapa 8. Organización del trabajo de planificación, ejecución y control de la actividad de mantenimiento con el SAM	49
11.1.4.5. Etapa 9. Evaluación periódica del SAM.....	50
12. IMPACTOS.....	52
12.1. Impacto tecnológico.....	52
12.2. Impacto económico.....	52
12.3. Impacto ambiental.....	54
13. VALORACIÓN ECONÓMICA Y/O PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR LA PROPUESTA DEL PROYECTO	56
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
14.1. Conclusiones	57

14.2. Recomendaciones.....	58
15. BIBLIOGRAFÍA.....	59
16. ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 10.1. Tolva dosificadora con greasley.	16
Tabla 10.2. Transportador de banda 1.	16
Tabla 10.3. Zaranda vibratoria 1.....	17
Tabla 10.4. Transportador de banda 2.	17
Tabla 10.5. Transportador de banda 3.	17
Tabla 10.6. Transportador de banda 4.	17
Tabla 10.7. Transportador de banda 5.	18
Tabla 10.8. Tolva dosificadora sin greasley.	18
Tabla 10.9. Trituradora 9026 con doble mandíbula.	18
Tabla 10.10. Transportador de banda 6.	18
Tabla 10.11. Zaranda vibratoria 2.....	19
Tabla 10.12. Transportador de banda 7.	19
Tabla 10.13. Transportador de banda 8.	19
Tabla 10.14. Transportador de banda 9.	19
Tabla 10.15. Transportador de banda 10.	20
Tabla 10.16. Generador 3306.	20
Tabla 10.17. Valores de los intervalos INGM.	21
Tabla 10.18. Reglas de selección del tipo de mantenimiento.	26
Tabla 10.19. Determinación del estado técnico según la eficiencia actual.	27
Tabla 10.20. Técnicas e instrumentos a emplear.	32
Tabla 11.1. Plantilla de personal del área de mantenimiento.	35
Tabla 11.2. Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento.....	40
Tabla 11.3. Resultados del análisis de criticidad.....	42

Tabla 11.4. Valores puntuales de criticidad.....	43
Tabla 11.5. Tipo de mantenimiento a nivel de elementos.	43
Tabla 11.6. Frecuencia de inspección para sistemas o elementos con mantenimiento predictivo.....	44
Tabla 11.7. Evaluación de la eficiencia del mantenimiento preventivo planificado.	46
Tabla 11.8. Estructura del ciclo entre reparaciones.....	47
Tabla 11.9. Elementos con mantenimiento correctivo.	48
Tabla 11.10. Disponibilidad técnica de los equipos.	51
Tabla 11.11. Costo de mantenimiento.....	51
Tabla 12.1. Resultado de cálculo del VAN.	53
Tabla 12.2. Nivel de ruido corregido.....	54
Tabla 12.3. Nivel máximo permisible.	55
Tabla 12.4. Niveles máximos de ruido permisibles según el uso de suelo.....	55
Tabla 12.5. Tiempo de explotación bajo el criterio de daño auditivo.	55
Tabla 13.1. Presupuesto para el desarrollo de la propuesta.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 8.1. Ubicación Cantera San Joaquín.	6
Figura 8.2. Equipos mineros de la cantera San Joaquín 2.	7
Figura 8.3. Flujograma de operación de la planta.	9
Figura 8.4. Procedimiento para la implementación del SAM.	15
Figura 10.1. Matriz de criticidad.	21
Figura 10.2. Matriz de criticidad.	23
Figura 10.3. Software de mantenimiento 3000 en la Cantera San Joaquín 2.	33
Figura 11.1. Estructura organizativa del área de mantenimiento de la cantera San Joaquín 2.	36
Figura 11.2. Distribución del nivel de la gestión de mantenimiento.	41
Figura 11.3. Confiabilidad de los equipos según sus horas de trabajo.	49
Figura 11.4. Registro de nómina de empleados.	50
Figura 11.5. Registro de máquinas.	50
Figura 12.1. Comportamiento de la TIR de las actividades de mantenimiento.	53

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “Implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.”

Autores: Rosa Angélica Ruiz Naranjo

Viviana Marcela López Auquilla

RESUMEN

En las dos últimas décadas, la industria de la minería latinoamericana ha venido generando importancia al desarrollo e implantación de políticas adecuadas de mantenimiento industrial a las máquinas de explotación y procesamiento, apoyándose del desarrollo en diseño e ingeniería. En la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda., las extremas condiciones de trabajo presentes implican que los equipos siempre están sometidos al desgaste y deterioro de su vida útil, por lo que resulta significativo tener estrategias de mantenimiento adecuadas. En el presente trabajo se plantea una propuesta tecnológica relacionada con la implementación del sistema alternativo de mantenimiento a los equipos de procesamiento minero, para el cual se inició de la determinación de los factores negativos que influyen en la operación eficiente de los equipos, siendo el más significativo el inadecuado sistema de mantenimiento aplicado a las máquinas, basado en el mantenimiento correctivo reactivo. Se consideran criterios de mantenimiento adecuados a nivel de máquinas y de elementos, donde se propone la combinación del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo según los historiales de fallas de los equipos y los impactos generados por estas. Con el estudio de fiabilidad de las máquinas y sus elementos se facilita la predicción de averías en el tiempo de trabajo de las máquinas. Como resultado de la evaluación del estado técnico del equipamiento se obtuvo que los equipos con sistema de mantenimiento preventivo planificado alcanzan una evaluación de 80,27 %, calificado como estado regular, por lo que se propone una mejora en los ciclos de mantenimiento y las reparaciones. Con la implementación de los resultados de la propuesta tecnológica y el uso de herramientas de gestión del mantenimiento como el software Mantenimiento 3000, se incidirá directamente en la disminución de los costos de mantenimiento.

Palabras clave: Sistema Alternativo de mantenimiento, falla, tipos de mantenimiento, fiabilidad, criticidad.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

TITLE: "Implementation of the alternate maintenance system for the mining processing equipment in the San Joaquín 2 quarry of MAPEAGRE CA. Ltd."

Authors: Rosa Angélica Ruiz Naranjo

Viviana Marcela López Auquilla

ABSTRACT

In the last two decades, the Latin American mining industry has been giving importance to the development and implementation of adequate industrial maintenance policies for the exploitation and processing machines, taking advantage of development in design and engineering. In the San Joaquín 2 quarry of MAPEAGRE CA. Ltd. The extreme present conditions of work imply that the equipment is always subject to wear and deterioration of its useful life, so it is significant to have adequate maintenance strategies.

In the present work, it's suggested a technological proposal related to the implementation of the alternative maintenance system to the mining processing equipment is proposed, for which started from the determination of the negative factors that influence the efficient operation of the equipment, being the most significant the inadequate maintenance system applied to machines, based on reactive corrective maintenance. Adequate maintenance criteria are considered at the machine and element level, where a combination of corrective, preventive and predictive maintenance is proposed according to the records of equipment failures and the impacts generated by them. With the study of the reliability of the machines and their elements facilitates the prediction of breakdowns in the working time of the machines. As a result of the evaluation of the technical condition of the equipment, it was obtained that the equipment with planned preventive conservation system reached an evaluation of 80,27 %, qualified as a regular state, so it is proposed an improvement in maintenance cycles and repairs.

With the implementation of the results of the technological proposal and the use of conservation management tools such as the Maintenance 3000 software, it be going to directly affect the reduction of maintenance costs.

Keywords: Alternate system of maintenance, fault, types of maintenance, reliability, criticality.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés de la Universidad Técnica de Cotopaxi en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de la tesis al Idioma Inglés presentado por Rosa Angélica Ruiz Naranjo y Viviana Marcela López Auquilla egresadas de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título es “Implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.” lo han realizado bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los petitionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio 12 de 2017

Atentamente,

Lic. Martha Cecilia Cueva Mgs.

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

C.C. 1705022448

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: “Implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la Cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.”.

Fecha de inicio: 24 de octubre del 2016

Fecha de finalización: 13 de julio del 2017

Lugar de ejecución: Cantera San Joaquín 2

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA.

Carrera que auspicia: Ingeniería Industrial.

Equipo de Trabajo:

Ing. MSc. Ángel Marcelo Tello Córdor (Anexo 1A)

Coordinadoras de la propuesta tecnológica:

López Auquilla Viviana Marcela (Anexo 1B)

Ruiz Naranjo Rosa Angélica (Anexo 1C)

Área de Conocimiento: El área de conocimiento del Ingeniero Industrial queda designado por la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación CINE (UNESCO, 1997):

Área: Ingeniería, industria y construcción.

Sub Áreas:

- **52 Ingeniería y profesiones afines:** Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, ingeniería energética y química, mantenimiento de vehículos, topografía.
- **54 Industria y producción:** Alimentación y bebidas, textiles, confección, calzado, cuero, materiales (madera, papel, plástico, vidrio, etc.), minería e industrias extractivas.

Línea de investigación: La línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la que se relaciona el proyecto es la de Procesos Industriales. Esta línea está enfocada en desarrollar tecnologías y procesos que permitan mejorar el rendimiento productivo fomentando la producción industrial (Dirección de Investigación - UTC, 2016).

Sub líneas de investigación de la Carrera: En la carrera de Ingeniería Industrial la línea de investigación con la que se relaciona nuestro proyecto es la de Administración y Gestión de la Producción haciendo referencia al Mantenimiento y Confiabilidad de la Producción Industrial.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

La cantera San Joaquín 2 se encuentra ubicada en la parroquia Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. El Área en concesión tiene una superficie de 72 has., mientras que la superficie manifestada en producción es de 32 has. El otorgamiento del Título Minero por parte de la DIREMIP fue el 18 de Julio de 1996. Esta cantera está operada por MAPEAGRE que es una compañía limitada dedicada a la prestación de servicios de maquinaria pesada y la producción de agregados y material pétreo triturado. Desde la fundación de la empresa su compromiso ha sido satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes. Uno de los objetivos principales de la empresa es prevenir la contaminación ambiental desde el aspecto de reducir los impactos negativos y los riesgos de seguridad industrial (Velóz-Ramírez, 2008).

La propuesta tecnológica parte de la evaluación a la gestión de mantenimiento de los equipos de procesamiento minero en la Cantera San Joaquín 2. A partir de la evaluación se selecciona el tipo de mantenimiento para cada máquina; orientado en la aplicación de manuales de mantenimiento, histogramas, criterios a nivel de máquina y razones para la reparación o sustitución de equipos.

Esta propuesta se relaciona con el Objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir el cual indica la necesidad de impulsar la mejora de la actividad minera como eje de la matriz productiva, relacionado con el lineamiento estratégico 11.2 que se refiere a la industrialización de la actividad minera siguiendo el marco de una gestión estratégica sustentable y eficiente; además se incluye en el literal d, que tiene como fin aprovechar los recursos mineros no metálicos para fomentar encadenamientos productivos, la diversificación de la industria y la inclusión de nuevos actores (SENPLADES, 2013).

El resultado principal se basa en el diseño y propuesta de procedimientos para la gestión del mantenimiento en dicha empresa y la aplicación de la ruta crítica en la planificación de los mantenimientos a nivel de las máquinas; fundamentándose así el diseño y aplicación de los sistemas alternos de mantenimiento y el análisis de los impactos del mantenimiento en la empresa y destino final de máquinas, componentes y lubricantes.

3. JUSTIFICACIÓN

La planificación en compra de insumos y piezas de repuestos no se encuentran acorde con las necesidades de reposición, debido a la falta de análisis predictivo. En la mayoría de las averías se ha superado la capacidad de la mano de obra de mantenimiento de la empresa por lo que se contrata un grupo de mecánicos exteriores, incurriendo en gastos imprevistos.

Para mantener la vida útil de los equipos del procesamiento minero, la empresa no dispone de un plan de mantenimiento, ya que únicamente se procede a aplicar el mantenimiento correctivo a las instalaciones y maquinarias. Los cambios de aceite se realizan de manera empírica de acuerdo a las horas de servicio de las máquinas y equipos. No existe un historial con registro de fallas, ni documentos que certifiquen los daños en la maquinaria y equipos. Esta manera de dar corrección a las fallas implica el paro en la producción de material, deficiencia productiva, disminución en cumplimiento de ventas y aumento de consumo energético debido a la inadecuada lubricación de partes móviles del proceso minero (Fernández, 2016).

Por lo tanto, la importancia de la realización de esta propuesta hace énfasis en proveer una herramienta a la organización que permita cumplir con los procesos de mantenimiento a su debido tiempo para así garantizar la buena utilización de los tiempos asignados para realizar las tareas de mantenimiento necesarias por cada equipo y de esta manera se busca minimizar los periodos de inactividad, aumentar el rendimiento de producción, la utilización efectiva de las horas programadas de producción y mantener la regularidad lo más óptimo posible en producción.

4. BENEFICIARIOS

Quienes se beneficiarán con la realización de esta propuesta tecnológica se identificarán de la siguiente manera.

• BENEFICIARIOS DIRECTOS

- Cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.
- Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

• BENEFICIARIOS INDIRECTOS

- Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA.

5. EL PROBLEMA

La inexistencia de una estrategia de la gestión del mantenimiento para los equipos de procesamiento del material pétreo en la Cantera San Joaquín 2, origina frecuentes averías imprevistas, paradas en la producción y elevados costos de reparación.

6. OBJETIVOS

Los objetivos en los cuales estará basada la propuesta tecnológica son los siguientes:

General

Implementar el Sistema Alternativo de Mantenimiento para los equipos de procesamiento minero en la Cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda. mediante la identificación y selección de tipos de mantenimiento a nivel de máquinas, buscando la mejora continua de la disponibilidad y estado técnico de los equipos.

Específicos

- Evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento de los equipos de procesamiento minero.
- Identificar el tipo de mantenimiento para cada máquina orientado en la aplicación de manuales de mantenimiento, histogramas y criterios a nivel de máquina.
- Elaborar planes de mantenimientos de la Cantera para cada uno de los equipos del procesamiento minero.
- Analizar los impactos de la aplicación adecuada de los mantenimientos.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Las actividades que se realizarán para dar cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente serán las especificadas a continuación en la tabla 7.1.

Tabla 7. 1. Sistema de tareas por objetivos.

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
1. Evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento de los equipos de procesamiento minero.	1.1 Descripción del flujo tecnológico y antecedentes de la planta.	Planteamiento de las especificaciones técnicas y productivas de las máquinas y la planta.	1.- Entrevista al gerente de la planta. 2.- Estudio de manuales de operación y funcionamiento de las máquinas.
	1.2 Recopilación de antecedentes de mantenimiento.	Dar seguimiento a la efectividad del proceso actual del mantenimiento.	1.- Revisión de registro de mantenimientos. 2.-Análisis de fallas.
	1.3 Elaborar un informe del estado actual de mantenimiento.	Reportar sobre el estado actual del mantenimiento.	1.- Recopilación y análisis de la información.

2. Identificar el tipo de mantenimiento para cada máquina orientado en la aplicación de manuales de mantenimiento, histogramas y criterios a nivel de máquina.	2.1 Selección del mantenimiento mediante criterio a nivel de máquina y el criterio a nivel de defecto.	Conocer el tipo de mantenimiento a aplicar por elemento, según criterio de ponderación.	1.- Análisis de criticidad de los elementos.
	2.2 Análisis de histogramas de fallas.	Ficha para registro de fallas.	1.- Aplicación de normativas de mantenimiento.
		Modelos de pronóstico de fallas.	1.- Análisis estadístico de datos.
3. Elaborar planes de mantenimiento de la Cantera para cada uno de los equipos del procesamiento minero.	3.1 Estudio de tiempos de las actividades de mantenimiento.	Optimización de los tiempos de mantenimiento.	1.- Medición del tiempo de ejecución de cada actividad de mantenimiento.
	3.2 Elaboración y aplicación de un plan de mantenimiento a nivel de máquina.	Disminución de los costos de mantenimiento.	1.- Análisis de comportamiento de gastos de mantenimiento.
4. Analizar los impactos de la aplicación adecuada de los mantenimientos.	4.1 Análisis de impacto tecnológico.	Conocer acerca de la influencia de la adecuación de actividades de mantenimiento en el equipamiento.	1.- Control y registro de averías. 2.- Análisis de la eficiencia operativa de las máquinas.
	4.2 Análisis de impacto económico.	Diseño de un sistema alternativo de mantenimiento.	1.- Determinación de los costos por actividad de mantenimiento.
	4.3 Análisis de impacto ambiental.	Conocer el efecto de las incidencias directas e indirectas de la actividad de mantenimiento en el entorno minero.	1.- Medición de niveles de ruido en la planta.

Elaborado por: Los autores.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Introducción

En la actualidad, mantener una producción diaria ha estado forzando a los responsables del mantenimiento en las plantas industriales a implementar los cambios que se requieren para pasar de ser un departamento que realiza reparaciones y cambia piezas y/o máquinas completas, a una unidad de alto nivel que contribuye de gran manera en asegurar los niveles de producción. Es por tanto necesario hacer notar que la actividad de mantener, si es llevada a cabo de la mejor manera, puede generar un mejor producto lo que significa producción de mejor calidad, en mayor cantidad y con costos más bajos (Velóz-Ramírez, 2008).

El objetivo de esta fundamentación teórica es realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en relación con la aplicación de un sistema alternativo de mantenimiento a los equipos de procesamiento minero en la Cantera San Joaquín 2 de la empresa MAPEAGRE Cía. Ltda.

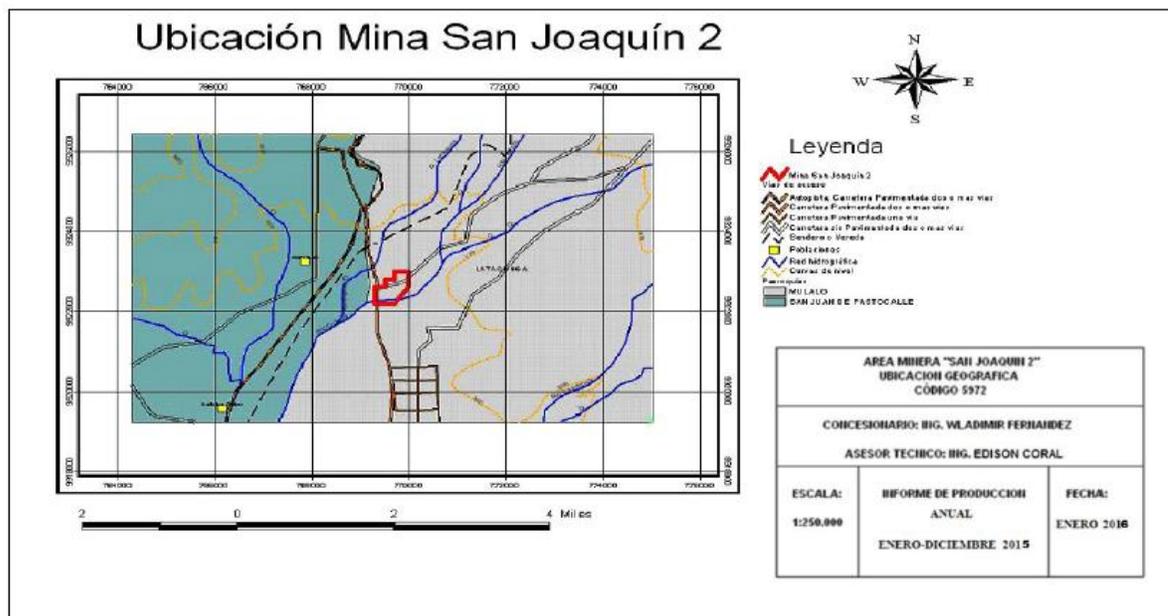
8.1. Generalidades de la Cantera San Joaquín 2

En este apartado se describirán todos los procesos y etapas que conforman a la Cantera San Joaquín 2, abarcando su ubicación, misión, visión, los productos y proceso de producción además se describe donde se desarrollará la investigación y se exponen una serie de términos que servirán de apoyo para la comprensión del tema a desarrollar.

8.1.1. Ubicación

La concesión minera San Joaquín 2, se encuentra ubicada en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga y Parroquia Mulaló. Se encuentra a 44 kilómetros al Sur de Quito, por la entrada al barrio Santa Rita, se ingresa a la concesión ingresando por el nuevo puente de acceso al Parque Nacional Cotopaxi. Inicialmente cuenta con 1.6 kilómetros desde la carretera principal Quito-Latacunga hasta la Cantera (Figura 8.1).

Figura 8.1. Ubicación Cantera San Joaquín.



Fuente: (Velóz-Ramírez, 2008).

El Área en concesión tiene una superficie de 72 has., mientras que la superficie manifestada en producción es de 32 has. El otorgamiento del Título Minero por parte de la DIREMIP fue el 18 de Julio de 1996. Esta cantera está operada por MAPEAGRE que es una compañía limitada dedicada a la prestación de servicios de maquinaria pesada y la producción de agregados y material pétreo triturado (Figura 8.2).

Figura 8.2. Equipos mineros de la cantera San Joaquín 2.



Elaborado por: Los autores.

8.1.2. Misión

MAPEAGRE C.LTDA., es una empresa dedicada a la explotación y preparación de material pétreo, realizamos un trabajo responsable en beneficio de sus clientes, la comunidad y el medio ambiente (Velóz-Ramírez, 2008).

8.1.3. Visión

Ser líderes en la extracción, procesamiento y venta de material pétreo para la construcción a nivel regional y nacional, cumpliendo siempre con los más altos estándares de calidad y servicio (Velóz-Ramírez, 2008).

8.1.4. Capacidad de producción

La Cantera tiene una producción diaria de 800 m^3 de material pétreo, debido a que la tolva receptora evacua 8 m^3 cada 5 min, la misma que se divide en 50 % de arena que equivale a 400 m^3 y el otro 50 % se divide en tres materiales mediante la zaranda vibratoria los cuales son ripio clasificado, chispa y coco cada uno con un volumen de 133 m^3 , el coco pasa por la trituradora que tiene una capacidad de producción de 40 a $80 \text{ m}^3/\text{h}$, de la cual se obtienen cuatro materiales, polvo de piedra, triturado de $\frac{1}{2}$ ", triturado de $\frac{3}{4}$ a 1 pulg y triturado de $2 \frac{1}{2}$ " pulg que se realimenta a la trituradora mediante la pala cargadora y este material vuelve a ser triturado para que produzca los cuatro materiales antes mencionados.

Dentro de los materiales obtenidos en el Área Minera San Joaquín 2, se tiene:

- Sub base 4 (Anexo 2; Figura 1)
- Sub base 3 y 2 Arena (Anexo 2; Figura 2)
- Arena fina (Anexo 2; Figura 3)
- Arena (Anexo 2; Figura 4)
- Piedra bola (Anexo 2; Figura 5)
- Piedra coco (Anexo 2; Figura 6)
- Piedra gruesa (Anexo 2; Figura 7)
- Piedra sobredimensionada (Anexo 2; Figura 8)
- Piedra partida / basílica (Anexo 2; Figura 9)
- Molón, dos caras (Anexo 2; Figura 10)
- Chispa clasificada (Anexo 2; Figura 11)
- Ripio clasificado (Anexo 2; Figura 12)
- Polvo de piedra (Anexo 2; Figura 13)
- Triturado de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " (Anexo 2; Figura 14)
- Triturado de $\frac{3}{4}$ " a 1 " (Anexo 2; Figura 15)

8.2. Breve descripción del sistema de explotación

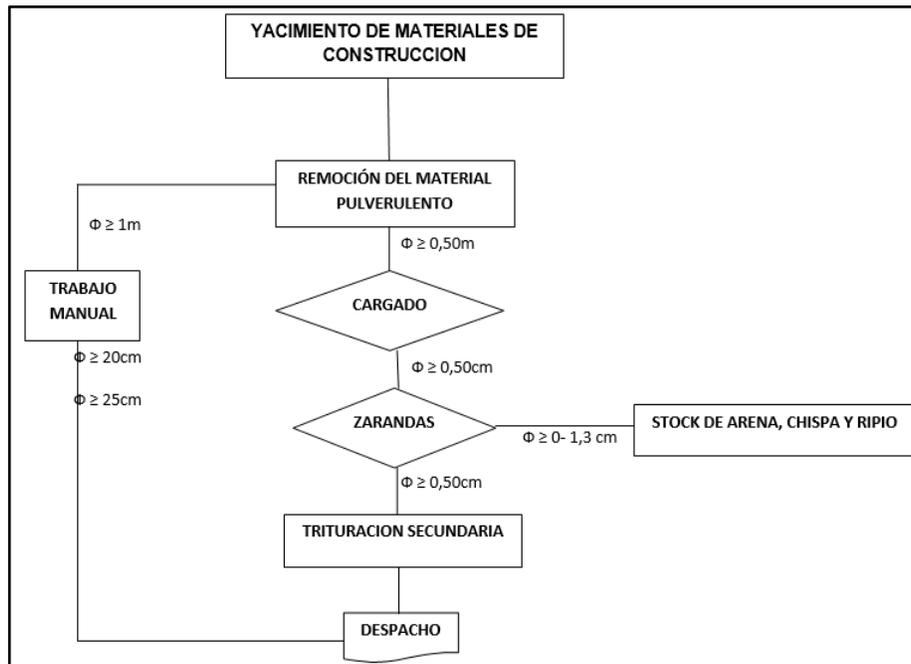
La explotación de los materiales de construcción existente en el área minera San Joaquín 2, se la realiza a cielo abierto, por cuanto presenta buenas características geométricas horizontales, la explotación se la ha realizado a través de excavaciones, las mismas que se disponen con bancos descendentes desde la superficie hasta el límite inferior de la cantera. Para arrancar el material se utiliza una retroexcavadora, por cuanto el material existente en esta zona es bastante suave, y de un tractor para los estratos más duros.

8.3. Descripción del flujo tecnológico del procesamiento minero del material pétreo

El Área San Joaquín 2, por tratarse de una planicie rocosa volcánica, casi no presenta capa vegetal, y en ciertas partes que existe la misma no sobrepasa de unos pocos centímetros, por tal situación en muchas ocasiones ha sido necesario importar suelo de lugares cercanos para las labores de remediación en los sectores liquidados. El coeficiente medio de destape es muy bajo, en la etapa de avance de los frentes de explotación no ha sido necesario talar los árboles por cuanto su presencia es muy limitada, y la existente es de muy poca edad (tallos muy pequeños) (Veloz, Chapalvay, & Jaramillo, 2016).

El proceso general de la actividad minera y beneficio de los áridos, se resume en el siguiente flujograma (Figura 8.3).

Figura 8.3. Flujoograma de operación de la planta.



Fuente: (Velóz-Ramírez, 2008).

El cargado de material hacia la zaranda o criba de clasificación primaria, se lo realiza con la ayuda de una excavadora Caterpillar de 1,2 m³ de capacidad del cucharón, de 100,67 kW, la cual se encuentra ubicada en los diferentes frentes de trabajo; el transporte del material se lo realiza con la ayuda de los volquetes de los clientes, de diferentes metros cúbicos de capacidad, desde el desbanque hacia la zaranda o criba vibratoria para pasar por el proceso de clasificación.

Se dispone de dos sistemas de clasificación dentro del área minera:

- En primer lugar, se dispone de un sistema de clasificación mediante gravedad, para lo cual se dispone de una Criba simple fija con una apertura mayor de rieles de 0,0762 metros (3 pulgadas), la misma se encuentra empotrada al terreno mediante madera y muros de hormigón; la que tiene una altura de 12 m. El material pétreo es descargado directamente con ayuda de los volquetes desde la plataforma de niveles superiores hasta la plataforma de carga de nivel inferior, en el plano inclinado de 45 ° Sexagesimales, el material clasificado se lo carga con ayuda de una cargadora frontal de 123,04 kW (165 Hp). De propiedad del concesionario en volquetes para su comercialización y la sobreproducción se lo almacena en áreas de stock determinadas, las cuales no sobrepasan los 100 m³, desde este lugar es llevado hasta la trituradora de clasificación secundaria.

- En segundo lugar, existe un sistema de clasificación que ya casi durante 7 años sigue operativo que consta de una tolva receptora y zarandas vibratorias la misma que tiene 3 niveles de clasificación de donde se obtiene cuatro productos que son:
 - Arena < 3/8 pulg.
 - Chispa < 7/16 pulg.
 - Ripio < 1 pulg.
 - Piedra bola o sobre pulgada.

El mismo que es llevado mediante bandas transportadoras a la trituradora secundaria de mandíbulas de 20 m³/h de capacidad con un motor de 29,828 kW (40 HP) marca METSO (brasileña); donde se consigue una reducción de diámetro para una segunda clasificación, el cual es conducido a través de una banda transportadora hasta la pila de acumulación de material y posterior comercialización.

El sistema de procesamiento mediante trituración previa del material, permite aprovechar la mayor parte del material útil, con lo que se evita una explotación exhaustiva y la creación de grandes áreas de escombros especialmente de piedra bola y material no condicionado, prolongando así considerablemente el tiempo útil del yacimiento.

El equipo de trituración es operado automáticamente con la ayuda de generadores de luz trifásica, los mismos que se encuentran ubicados en una casa de máquinas que cuenta con todas las seguridades en caso de posibles accidentes.

8.4. Clasificación y evolución del mantenimiento industrial

El mantenimiento en las industrias ha evolucionado siguiendo las estrategias siguientes (Palomino, 1999), (Navarrete, Treto, & Rodríguez, 2016):

- **Mantenimiento Correctivo o por avería:** Esta estrategia consiste en operar la máquina hasta que se averíe y entonces realizar dicho mantenimiento; generalmente ha conducido a bajas disponibilidades de los equipos, pérdidas de producción o retrasos en sus programas, elevados costos de las reparaciones de los equipos dinámicos averiados, condiciones peligrosas en las plantas, baja calidad de las reparaciones realizadas en la maquinaria afectada, por las urgencias que implican las intervenciones, que muchas veces son efectuadas en jornadas extraordinarias. En general todo lo antes expuesto genera pérdidas económicas notables.

- **Mantenimiento Correctivo Programado:** Este sistema ha ido evolucionando y lo encontramos en la actualidad con una variante superior, que al nutrirse de la información que genera el diagnóstico y la experiencia acumulada, cuando se está desarrollando algún fallo, permite tener conocimiento de lo que hay que hacer para cuando suceda la avería o para cuando se quiera o pueda ejecutar el trabajo. Con esta modalidad se definen materiales, herramientas, instrumentos y los oficios que se utilizarán, por lo que logran mejorarse los índices de gestión.
- **Mantenimiento Preventivo Planificado:** Consiste en ejecutar operaciones de mantenimiento a intervalos de tiempo regulares. Según esta estrategia los trabajos de mantenimiento están planificados y deben ser realizados dentro de jornadas ordinarias, sin embargo ha tenido diferentes manifestaciones dentro de la industria. En sus inicios los ciclos fijados no siempre eran los más adecuados, en ocasiones se revisaban máquinas que presentaban un funcionamiento mecánico operacional satisfactorio antes de la intervención y después de finalizar esta, presentan anomalías que obligan a revisarlas nuevamente con las consiguientes pérdidas de disponibilidad.
- **Mantenimiento Predictivo:** Se ejecuta el mantenimiento únicamente cuando sea necesario; esto es, en función del estado mecánico operacional de la máquina. Por esta vía se detectan y diagnostican defectos en su etapa incipiente y se controla su evolución: esto limita las posibilidades de daños catastróficos, paradas imprevistas, y reduce los tiempos de revisión, lo que reduce también los tiempos de paro de las máquinas. El aprovechamiento de la vida útil de los componentes de máquinas es máximo, por lo que no se requieren grandes stocks, habiendo una mejor gestión de recambios. Todo lo antes expuesto ha conducido a una reducción de los gastos de mantenimiento.
- **Mantenimiento Alterno:** También conocido como mantenimiento basado en modificaciones, es la combinación de los tres tipos de mantenimiento mencionados anteriormente; esta combinación varía constantemente en función de la evolución de la tecnología y del coste de equipos y personal, tiene como objetivo central asociar a la atención de un activo productivo o gamas correctivas, preventivas, predictivas en función de su importancia y repercusión para el proceso de producción. Esta filosofía de trabajo lleva asociada una ardua tarea de planificación y control, así como una elevada manipulación de información, por lo que se recurrió para la implementación de este al uso de la computación, solución que ha revolucionado la gestión de mantenimiento, tanto como concepto general como en cada una

de las etapas (Organización, planificación, ejecución y control) con las que está firmemente ligado.

8.5. Gestión y planificación del mantenimiento

El plan de mantenimiento se prepara de manera global para todo el año indicando lo que ha de hacerse por mes. En este plan figuran todas las máquinas, equipos e instalaciones indicando el tipo de mantenimiento (reparación pequeña, revisión, reparación mediana y general), que corresponde en cada uno de los meses.

El tipo de mantenimiento y su fecha se determinan sobre la base de la planificación que se hace con antelación sobre el número de horas que ha trabajado el equipo, basado en la estructura del ciclo y la duración de este, es decir, después de establecer la estructura del ciclo, el tiempo de duración del mismo en horas y cuantos turnos trabajará el equipo, es que se puede planificar los distintos trabajos de mantenimiento así como su fecha (Navarrete & González, 1986).

8.5.1. Ciclo de mantenimiento

El ciclo de mantenimiento constituye la parte más importante de las actividades de mantenimiento preventivo planificado. La elección de un ciclo adecuado significa un mejor aprovechamiento del equipo, seguridad para el flujo de producción, ahorro de tiempo, ahorro de piezas, materiales y mano de obra. Ciclo de mantenimiento (T) se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo, expresado en horas-máquinas, entre dos reparaciones generales consecutivas o en un equipo nuevo, desde su puesta en marcha hasta la primera reparación general. Las operaciones a realizar en el ciclo han sido divididas en cuatro categorías: revisión (R), reparación pequeña (P), reparación mediana (M) y reparación general (G). El tiempo que se invierte en las revisiones y durante las reparaciones no forman parte del ciclo, ya que un mismo trabajo puede tener mayor o menor duración en talleres diferentes. Cada máquina o equipo puede pasar por varios ciclos de mantenimiento durante su vida útil, dependiendo esto de su carácter obsoleto (Tavares, 2012).

Cada tipo de ciclo tiene su estructura propia, la cual fija el número y los tipos de revisiones y reparaciones que se realizaran en el equipo dado. En muchos casos se utilizan también en la producción diferentes equipos especiales, para los cuales será necesario emplear de la misma forma un ciclo adoptado de forma especial.

En el ciclo a aplicar en cada equipo debería determinarse en cada área de producción, analizado individualmente los equipos, eligiendo, el tipo que debe corresponder. La duración del ciclo de mantenimiento en horas-máquinas depende de las características constructivas del equipo, condiciones de explotación, tipo de producción y otras (Navarrete & González, 1986).

Se denomina al orden de las intervenciones planificadas dispuestas consecutivamente. La duración del ciclo de reparación y el periodo entre intervenciones se establece sobre la base del trabajo real de los equipos, expresado en horas-máquinas. En empresas donde el grado de organización permita un óptimo aprovechamiento de los equipos, se puede aceptar el tiempo corregido por el coeficiente de aprovechamiento, o sea en dependencia de cuantos turnos trabaja el equipo y bajo qué condiciones (Navarrete & González, 1986).

8.6. Estado Técnico

Un aspecto importante que se debe observar para planificar la actividad de mantenimiento es el conocimiento previo del estado técnico del equipo, por lo que se hace necesario efectuar una serie de trabajos iniciales para su evaluación. El estado técnico de un equipo se define como las condiciones técnicas y funcionales que posee el equipo en un momento dado. Por tanto el estado técnico de cualquier equipo está en función del tiempo. Para determinar el mismo se efectúa una revisión previa a cada equipo donde participan los técnicos de mayor experiencia y calificación y está dirigida a detectar el grado de desgaste de las diferentes partes y mecanismos de las máquinas (Acosta, 2012).

El éxito de la determinación del estado técnico radica en el nivel de responsabilidad y exigencia con que se haya realizado la defectación.

Esta inspección contempla:

1. Consumo de energía.
2. Funcionamiento del elemento motriz y del acoplamiento.
3. Estado de la carcasa del equipo.
4. Funcionamiento de los mecanismos de regulación y mando.
5. Funcionamiento de los órganos de trabajo.
6. Estado de las transmisiones (correas, cadenas, engranajes).
7. Estado de conservación de los instrumentos que indican los parámetros de funcionamiento del equipo.

8. Nivel de ruido, vibraciones, temperatura.
9. Otros parámetros que el experto considere importantes.

El procedimiento actual de mayor aceptación en el mundo para la determinación del estado técnico del equipamiento industrial lo constituye el monitoreo constante de los parámetros estructurales y funcionales de las máquinas a través de novedosas técnicas de diagnóstico (análisis de vibraciones, termografías, análisis de aceites, líquidos penetrantes y otros). Sin embargo el alto costo de instalación e implementación de este tipo de sistema, restringe su aplicación solo a aquellos casos donde se justifique su utilización técnica y económica (Aguado, 2008).

8.7. Sistema alternativo de mantenimiento (SAM)

Es un sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial que se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los sistemas de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo. Estos sistemas serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos (Martinez, 2009).

- Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP).
- Mantenimiento Predictivo o por Diagnóstico.
- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento de Línea.

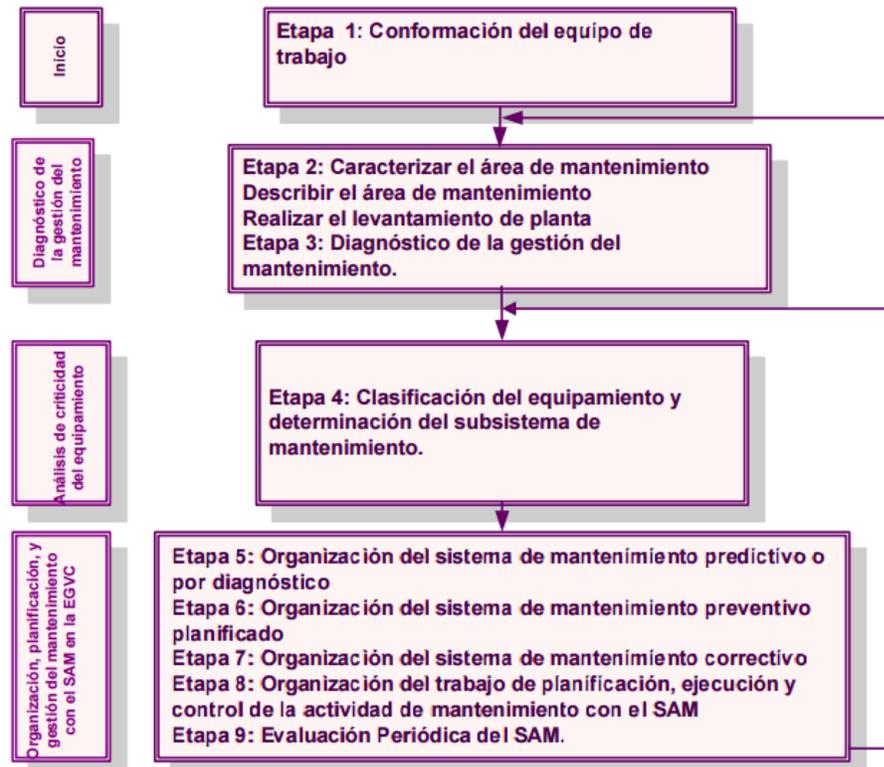
Las ventajas que el SAM representa para una organización se encuentran (Portuondo, 1989):

- Implica la aplicación del sistema de mantenimiento más adecuado a las cantidades y características de cada equipo o línea de producción.
- Se ajusta a las circunstancias específicas de cada equipo. Se debe lograr una alta disponibilidad de los mismos.
- Los costos de mantenimiento deben reducirse, al efectuarse los trabajos solo realmente necesarios en muchos casos.
- Para los equipos más imprescindibles se garantiza un trabajo sin fallos hasta el momento en que se halla previsto que se debe ejecutar un trabajo de reparación.

8.7.1. Procedimiento para la implementación del (SAM)

El procedimiento propuesto toma como base el método diseñado por (De la Paz, 1994), (Borroto, 2005). Este procedimiento se ha estructurado en nueve etapas distribuidas en cuatro fases. A continuación se muestra el diagrama estructural de relación de cada una de las etapas con sus respectivas fases (Figura 8.4).

Figura 8.4. Procedimiento para la implementación del SAM.



Fuente: (Velazquez, 2014).

A partir de este procedimiento se realizará la implementación del sistema alternativo de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero de la Cantera San Joaquín 2.

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

Mediante el estudio de los historiales de falla y criticidad de los equipos de procesamiento minero de la cantera San Joaquín 2, es posible diseñar un sistema alternativo de mantenimiento adecuado a las condiciones reales de operación, buscando la mejora de disponibilidad, productividad y estado técnico.

10. METODOLOGÍAS

Tomando en cuenta lo analizado en la fundamentación teórica de esta investigación es evidente la necesidad de aportar soluciones al problema científico que la originó. Es por esto que se propone un procedimiento, que permite orientar la toma de decisiones referente a la implementación del SAM para la ejecución del mantenimiento en los diferentes equipos de procesamiento minero de la cantera San Joaquín 2.

10.1. Características técnicas de los equipos de procesamiento minero

En la planta de producción se dispone de dos sistemas de clasificación dentro del área minera:

En primer lugar, se dispone de un sistema de clasificación mediante gravedad, para lo cual se dispone de una Criba simple fija con una apertura mayor de rieles de 0,0762 metros (3 pulgadas), la misma se encuentra empotrada al terreno mediante madera y muros de hormigón y tiene una altura de 12 m.

En segundo lugar, existe un sistema de clasificación que ya casi durante 7 años sigue operativo, y está conformado por diferentes procesos.

El primer proceso empieza con el desbanque del material con la ayuda de una retroexcavadora Caterpillar de 1.2 m³ de capacidad del cucharón, de 100,67 kW, para después ser transportado por volquetas hacia la tolva dosificadora de recepción con las siguientes características (Tabla 10.1):

Tabla 10.1. Tolva dosificadora con greasley.

Motor (Hp)	Vibración	Capacidad	Material	Ancho	Largo	Altura
15	Si	9 m ³ /h	de banco	2,50 m	3,5 m	3,5 m

Elaborado por: Los autores.

Después el material es trasladado mediante un transportador de banda con las siguientes características (Tabla 3):

Tabla 10.2. Transportador de banda 1.

Motor (Hp)	Material transportado	Velocidad	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
			Estaciones	Apoyo					
5 Hp	Para clasificado	1,5 m/s	9E · 2R	3	Si	Ajuste	(30 ") 0,75 m	9 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El segundo proceso inicia cuando el material trasladado por el transportador de banda 1 llega a una zaranda vibratoria 1 con las características siguientes (Tabla 4):

Tabla 10.3. Zaranda vibratoria 1.

Motor (Hp)	Vibración	Ancho	Largo	Altura	Malla 1	Malla 2	Malla 3
20	Si	1,52 m	4,55 m	5 m	(Ancho 1,52 m) · (Largo 4,55 m)		
Espesor					1 1/4 "	1/2 "	3/8 "
Material Retenido Diámetro					Coco ($\Theta > 1\ 1/4$ ")	Chispa ($\Theta > 3/8$ ")	
Material pasante Diámetro					Ripio clasificado (< 1 " $> \Theta > 1/2$ ")	Arena ($\Theta < 3/8$ ")	Arena ($\Theta < 3/8$ ")

Elaborado por: Los autores.

La arena que sale de la malla 3 es transportada hacia la pila de acumulación de material mediante un transportador de banda con las siguientes características (Tabla 5):

Tabla 10.4. Transportador de banda 2.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
10	Arena ($\Theta < 3/8$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	30 "	19 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

La chispa que sale de la malla 2 es transportado hacia el lugar apilamiento mediante un transportador de banda con características especificadas en la tabla 6:

Tabla 10.5. Transportador de banda 3.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
5	Chispa ($\Theta > 3/8$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	20 "	16 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El ripio clasificado que pasa de la malla 1 es transportado hacia el almacenamiento del material mediante un transportador de banda con características (Tabla 7):

Tabla 10.6. Transportador de banda 4.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
10	Ripio ($\Theta = 1$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	24 "	16 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El coco que no pasa por la malla 1 es transportado hacia la trituradora mediante un transportador de banda con características especificadas en la tabla 8:

Tabla 10.7. Transportador de banda 5.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
3	Coco ($\Theta > 1 \frac{1}{4}$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	24 "	16 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El material que no se clasifica pasa a la tolva dosificadora sin greasley zaranda vibratoria 2, que tiene las siguientes características de la tabla 9:

Tabla 10.8. Tolva dosificadora sin greasley.

Motor (Hp)	Vibración	Capacidad	Material	Ancho	Largo	Altura
7,5	Si	40 -80 m ³ /h	Coco ($\Theta > 1 \frac{1}{4}$ ")	Coco sin triturar	2,5 m	3,5 m

Elaborado por: Los autores.

Para conseguir una reducción de diámetro del material de 1 ¼ de pulgada y obtener una segunda clasificación, dicho material pasa a la trituradora 9026 con doble mandíbula de marca METSO (brasileña) con características especificadas en la tabla 10:

Tabla 10.9. Trituradora 9026 con doble mandíbula.

Motor (HP)	Vibración	Capacidad de trituración	Material 1	Material 2 (pala)	Ancho boca	Largo boca
40	Si	40 - 80 m ³ /h	Coco ($\Theta > a 1 \frac{1}{4}$ ")	Piedra ($\Theta \leq 26$ cm)	26 cm	90 cm

Elaborado por: Los autores.

Una vez triturado el material, pasa hacia la zaranda vibratoria 2 mediante un transportador de banda (Tabla 11):

Tabla 10.10. Transportador de banda 6.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
3	Coco ($\Theta > 1 \frac{1}{4}$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	24 "	16 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

Este material ingresa a una zaranda vibratoria 2 con características (Tabla 12):

Tabla 10.11. Zaranda vibratoria 2.

Motor (Hp)	Vibración	Ancho	Largo	Altura	Malla 1	Malla 2	Malla 3
5	Si	0,91 m	2,75 m	5m	(Ancho 0,91 m) · (Largo 2,75 m)		
Espesor					1 1/4 "	7/8 "	3/8 "
Material Retenido Diámetro					Triturado ($\Theta \leq 1$ ")	Triturado ($3/8 < \Theta < 7/8$ ")	Triturado pasante (Polvo de piedra) ($\Theta < 3/8$ ")

Elaborado por: Los autores.

El polvo de piedra que sale de la malla 3 es transportado hacia el lugar de stock mediante un transportador de banda con características (Tabla 13):

Tabla 10.12. Transportador de banda 7.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
5	Polvo de piedra ($\Theta < 3/8$ ")	9E · 2R	3	Si	Ajuste	20 "	12 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El ripio triturado de 1 " que sale de la malla 1 es transportado hacia el lugar de stock mediante un transportador de banda con características (Tabla 14):

Tabla 10.13. Transportador de banda 8.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
5	Ripio triturado (Ripio de media) ($\Theta \leq 1$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	20 "	14 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El ripio triturado con diámetro $>$ a 1 pulgada y $\frac{1}{2}$ que sale de la malla 2 es transportado hacia el lugar de stock mediante un transportador de banda con características de la tabla 15:

Tabla 10.14. Transportador de banda 9.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
5	Ripio triturado (Ripio de media) ($3/8 < \Theta < 7/8$ ")	8E · 2R	5	Si	Ajuste	20 "	14 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El coco que no es triturado es transportado hacia el lugar de stock mediante un transportador de banda con características especificadas en la tabla 16:

Tabla 10.15. Transportador de banda 10.

Motor (HP)	Material Transportado	Rodillos		Tambor de cola (abajo)	Tambor de caucho (arriba)	Ancho	Largo	Altura
		Estaciones	Apoyo					
7,5	Coco reciclable ($\Theta \leq 1\ 1/2$ ")	9E · 2R	3	Si	Ajuste	20 "	9 m	7 m

Elaborado por: Los autores.

El material no triturado se lo denomina también como “coco reciclable” debido a que se lo vuelve a pasar por la trituradora con la ayuda de una cargadora frontal.

El equipo de trituración es operado automáticamente con la ayuda de un generador de marca CATERPILLAR de luz trifásica, el mismo que se encuentra ubicado en una casa de máquinas (Tabla 17):

Tabla 10.16. Generador 3306.

Potencia	Selector
210 kW	Trifásico 220 kW

Elaborado por: Los autores

10.2. Método para el diagnóstico y planificación de la gestión del sistema alterno de mantenimiento (SAM)

Para realizar el diagnóstico de la gestión del mantenimiento, se hizo una revisión detallada de toda la documentación existente en la cantera (Anexo 3), diseñada por (Pérez, Borroto, & Rodríguez, 2013).

Cada uno de los aspectos analizados en la guía de diagnóstico se valoran en una escala de 0 a 3, donde:

- Es “0” si el aspecto considerado en la pregunta está ausente.
- Es “1” si el aspecto considerado se alcanza deficientemente.
- Es “2” si se alcanza, aunque aún puede mejorar.
- Es “3” si se alcanza de forma óptima.

Los aspectos peores evaluados indicarán los problemas o debilidades de la gestión del mantenimiento en cuestión. En función de esto se realiza la evaluación de la gestión del mantenimiento a través del indicador de nivel de gestión del mantenimiento (INGM).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum Tp_{m\acute{a}x}} \cdot 100 \quad (10.1)$$

Donde: TA_i : Puntuación real obtenida por cada área evaluada. $Tp_{m\acute{a}x}$: Puntuación máxima posible a obtener en cada área.

Se tiene en cuenta para evaluar este indicador la escala siguiente:

Tabla 10.17. Valores de los intervalos INGM.

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

Fuente: (Velázquez, 2014).

10.3. Metodología para análisis de criticidad

La metodología del análisis de criticidad permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, realizando una distribución para facilitar el proceso de tomar decisiones acertadas y efectivas, para dirigir el esfuerzo y los recursos hacia las áreas donde sea más necesario e importante mejorar la confiabilidad operacional de cada equipo. Cuando un componente se lo clasifica como “crítico”; es de prioridad establecer alguna tarea eficiente y efectiva de mantenimiento preventivo que permita mitigar las posibles causas de fallo (Moubray, 2004), (Huerta-Mendoza, 2010).

10.3.1. Procedimiento para realizar un análisis de criticidad

Para determinar la criticidad de un equipo se utiliza una matriz de frecuencia de las fallas por consecuencia de las fallas. En un eje se representa la frecuencia y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá el equipo en estudio si le ocurre una falla (Aguilar, 2010).

Figura 10.1. Matriz de criticidad.



Fuente: (Aguilar, 2010).

La matriz tiene un código de colores para poder identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

$$Cr = F \cdot C \quad (10.2)$$

Donde: Cr : Criticidad; [adimensional]. F : Frecuencia; [adimensional]. C : Consecuencia; [adimensional].

Para realizar un análisis de criticidad se deben seguir los siguientes pasos:

Primer paso. - Definir el nivel de análisis.

Se deben definir los niveles en donde se va a realizar el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con las necesidades de jerarquización:

Para realizar el análisis es necesario disponer de la siguiente información:

- Tipo de instalaciones que existen.
- Diferentes tipos de sistemas y equipos que hay en la empresa.
- Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- Diagramas de flujo de proceso.
- Registros de fallas funcionales.
- Frecuencia de ocurrencia de las fallas consideradas en el análisis.

Segundo paso. - Definir la Criticidad.

Para la evaluación de las consecuencias de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos.

Evaluación de la frecuencia de la falla funcional: Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos ocurridos durante el tiempo de estudio. En caso de no contar con esta información utilizar base de datos y si esta no está disponible se debe basar en la opinión de expertos.

Los impactos en la producción cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre la producción. Este criterio se evaluará de la siguiente manera:

$$IP = PD \cdot TPPR \cdot CP \quad (10.3)$$

Donde: *IP*: Impactos en la producción; [\$/horas]. *PD*: Producción diferida (Volumen de áridos); [m³]. *TPPR*: Tiempo promedio para reparar; [horas]. *CP*: Costos de producción; [\$/m³].

Los impactos asociados a daños de las instalaciones se evaluarán considerando los siguientes factores:

$$DI = CR + CRE \quad (10.4)$$

Dónde: *CR*: Costos de reparación; [\$/]. *CRE*: Costos de reposición de equipos afectados; [\$/].

El valor resultante permitirá categorizar el daño a instalaciones de acuerdo con los criterios de la que se establece. Según (PEMEX, 2016) la categoría de impacto asociado a empresas similares a la Cantera San Joaquín se encuentran en categoría 1, para daños a la instalación y pérdida de producción hasta 500 mil dólares.

Tercer Paso.- Cálculo del nivel de criticidad.

Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe utilizar la fórmula 10.1.

El valor de la criticidad, se busca en la matriz, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

Figura 10.2. Matriz de criticidad.



Fuente: (PEMEX, 2016).

Cuarto paso. - Análisis y Validación de los resultados.

Los resultados obtenidos se deben analizar para poder definir acciones que puedan reducir los impactos asociados a los modos de falla.

Quinto paso. - Definir el nivel de análisis.

El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad.

La valoración del nivel de criticidad permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo necesiten considerando su impacto en el proceso.

Sexto paso. - Determinar la criticidad.

Cuando en la evaluación de un equipo se obtienen frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad a un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

10.4. Criterio de selección del tipo de mantenimiento a nivel de máquina

La tendencia actual de seleccionar los sistemas de mantenimiento, se sitúa entre los siguientes:

- Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad).
- Mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento por condición.

Para la selección del sistema de mantenimiento se han propuesto diferentes metodologías, las cuales analizan con distintas particularidades, diferentes criterios que aplicados a la máquina como un todo permiten determinar qué sistema de mantenimiento es el más conveniente. Para la selección del sistema de mantenimiento se utilizará el análisis de criterio a nivel de máquina (Morrow, 1986). Para esto se evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma.

Según (Morrow, 1986) se realiza de la siguiente forma:

“Se debe utilizar una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar:

- **C1:** Elevado costo de adquisición de la máquina.
- **C2:** Alto costo por concepto de pérdidas de producción.
- **C3:** No existencia de duplicado de la máquina.
- **C4:** Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible.
- **C5:** Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: niveles totales de vibración, temperatura, flujo.
- **C6:** Elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos de materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.
- **C7:** Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnicas constructivas sufren deterioro de su estado técnico con el desarme.
- **C8:** Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación.

Los coeficientes que no cumplen la condición adoptan el valor de 0.

Los coeficientes que cumplen con la condición descrita adoptan el valor de 1.”

Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

- **Coficiente de mantenimiento predictivo**

$$C_{PRED} = \frac{C1 + C2 + C3 + C6}{4} \quad (10.5)$$

- **Coficiente de mantenimiento correctivo/preventivo**

$$C_{\frac{CORR}{PREV}} = \frac{C_{PERDIDAS} + C_{FALLAS}}{5} \quad (10.6)$$

Siendo:

$$C_{PÉRDIDAS} = C1 + C2 + C6 \quad (10.7)$$

$$C_{FALLAS} = C7 + C8 \quad (10.8)$$

Tabla 10.18. Reglas de selección del tipo de mantenimiento.

Valor de los coeficientes	Sistema de mantenimiento
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ $C7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$C_{PRED} > 0,5$ $C4 = 0$ $C5 = 1$	
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C4 = 1$ $C5 = 1$ y/o	
$C_{PRED} \geq 0,5$ $C4 = 1$	Predictivo

Fuente: (Ferrer, 2014).

10.5. Determinación del estado técnico en mantenimiento preventivo planificado

Actualmente el mantenimiento preventivo planificado se lo realiza al moto generador, los rodillos de los transportadores de banda y al sistema de rodamientos del eje de la trituradora. El procedimiento que se sigue para la determinación del estado técnico es muy sencillo y útil, al terminarse la revisión previa, se hace una valoración del equipo que puede ser de buena, regular, mala o muy mala. Para esto es necesario determinar el porcentaje de la eficiencia del equipo, donde existen pasos intermedios que se deben calcular.

Cómo lo dice (González , 2005):

$$Z_i = e \cdot c \quad (10.9)$$

Donde: Z_i : Calificación de los elementos con igual evaluación; [adimensional]. e : Número de elementos con igual evaluación; [u]. c : Coeficiente que contempla el estado actual del elemento; [adimensional].

$c = 1$; Si el elemento evaluado es bueno; [adimensional].

$c = 0,8$; Si el elemento evaluado es regular; [adimensional].

$c = 0,6$; Si el elemento evaluado es malo; [adimensional].

$c = 0,4$; Si el elemento evaluado es muy malo; [adimensional].

Luego de multiplicar la cantidad de elementos según la evaluación obtenida se procede a sumar estos productos mediante la ecuación:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (10.10)$$

Donde: Z : Calificación total de los elementos evaluados; [adimensional].

Al dividir este resultado entre la cantidad de elementos evaluados y multiplicándolo por 100 se obtiene el grado de eficiencia del equipo respecto a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa empleando la expresión siguiente:

$$\eta = \frac{Z}{n} \cdot 100 \quad (10.11)$$

Donde: η : Eficiencia obtenida al efectuar la defectación; [%]. n : Número de elementos evaluados del equipo; [u].

Para clasificar el estado técnico del equipo de acuerdo con la eficiencia que se obtuvo al efectuar la defectación es necesario tomar como referencia la semejanza siguiente (Tabla 10.19):”

Tabla 10.19. Determinación del estado técnico según la eficiencia actual.

Eficiencia actual	Estado técnico	Se comienza por
90 – 100 %	Bueno	Revisión
75 – 89 %	Regular	Reparación pequeña
50 – 74 %	Malo	Reparación media
Menos del 50 %	Muy mal	Reparación general

Fuente: (Tedeschi, 1979).

10.5.1. Determinación del tiempo real de operación (HROP)

Para obtener la información sobre el tiempo real de operación por cada equipo se determina a partir del tiempo de trabajo del generador. Por lo que se propone utilizar como fuente de información la tarjeta diseñada para el control de consumo energético del generador (Anexo 4), tomando como referencia el trabajo realizado por (Azoy, 2014).

10.5.2. Determinación de la cantidad de fallas (NTMC)

Para su determinación se emplean las órdenes de mantenimiento diseñadas para los equipos de procesamiento minero de la Cantera San Joaquín 2, (Anexo 5), tomando como referencia el trabajo realizado por (Azoy, 2014).

Estas se utilizan cada vez que el equipo entre en mantenimiento, debido a la aparición de una falla o por la necesidad de realizar una actividad técnica planificada. Para obtener la información sobre la cantidad de fallas en cada mes por cada equipo en estudio, se contabiliza el número de

intervenciones de mantenimiento al mismo en ese período por las causas antes mencionadas. Este procedimiento se realiza para todos los equipos en estudio de un mismo tipo.

10.5.3. **Tiempo de eliminación de las fallas o por acciones de mantenimiento programado (HTMC)**

Para obtener el tiempo empleado para la eliminación de las fallas aparecidas en cada equipo durante cada mes, se utilizan las órdenes de mantenimiento. En ellas se registra, la información relacionada con el tiempo utilizado (en horas) para la eliminación de las fallas o en la ejecución de actividades programadas (mantenimientos técnicos o reparaciones). Para la recopilación de esta información en cada mes, se procesan todas las órdenes de mantenimiento emitidas para cada uno de los equipos.

10.5.4. **Tiempo medio entre fallas**

El tiempo medio entre fallas es calculado para ítems que son reparados tras la ocurrencia de una falla (Azoy, 2014).

$$TMEF = \frac{HROP}{NTMC} \quad (10.12)$$

Donde: *HROP*: Tiempo real de operación por equipo en el mes; [horas]. *NTMC*: Cantidad total de fallas en cada mes; [u].

10.5.5. **Tiempo medio para la reparación**

Este índice debe ser usado, para ítems en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación (Azoy, 2014).

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC} \quad (10.13)$$

Donde: *HTMC*: Tiempo para la eliminación de las fallas; [horas]. *NTMC*: Cantidad total de fallas en cada mes; [u].

10.5.6. **Disponibilidad de equipos**

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR} \quad (10.14)$$

Donde: *TMEF*: Tiempo medio entre fallas; [horas]. *TMPR*: Tiempo medio para la reparación; [horas].

10.5.7. Duración del ciclo de reparación

La duración del ciclo de reparación no es más que las horas que debe trabajar un equipo entre dos reparaciones generales o entre la puesta en marcha y la primera reparación general (Muñoz, 2003), y se determina mediante la fórmula:

$$T = N \cdot M \cdot Y \cdot Z \cdot K \quad (10.15)$$

Donde: T : Duración del ciclo de reparación [horas]. N : Coeficiente que relaciona el tipo de producción [adimensional] (Anexo 6, tabla 1 y tabla 2). M : Coeficiente que relaciona el tipo de material que trabaja la máquina [adimensional] (Anexo 6, tabla 3). Y : Coeficiente que relaciona las condiciones ambientales donde se encuentra el equipo [adimensional] (Anexo 6, Tabla 4). Z : Coeficiente que relaciona el peso del equipo [Adimensional] (Anexo 6, tabla 5). K : Duración teórica del ciclo [adimensional] (Anexo 6, tabla 6).

10.5.8. Determinación del tiempo entre operaciones del ciclo

Después de calcular el tiempo de duración del ciclo T y de seleccionar su estructura conveniente, se puede determinar el tiempo entre las operaciones utilizando la siguiente fórmula (Muñoz, 2003):

$$t_o = \frac{T}{R+P+M+1} \quad (10.16)$$

Donde: t_o : Tiempo entre operaciones [horas]. T : Duración del ciclo [horas]. R : Cantidad de revisiones en el ciclo [u]. P : Cantidad de reparaciones pequeñas en el ciclo [u]. M : Cantidad de reparaciones medianas en el ciclo [u].

Lo que quiere decir que cada t_o de trabajo del equipo debe efectuarse un trabajo de MPP, como es natural pueden ocurrir alteraciones ya que este cálculo se hace con vistas a la planificación y puede apartarse de la realidad.

10.5.9. Cálculo del tiempo entre reparaciones

Según (Muñoz, 2003) el tiempo entre reparaciones se determina mediante la fórmula:

$$t_r = \frac{T}{P+M+1} \quad (10.17)$$

Donde: t_r : Tiempo entre reparaciones [horas]. T : Duración del ciclo [horas]. P : Cantidad de reparaciones pequeñas en el ciclo [u]. M : Cantidad de reparaciones medianas en el ciclo [u].

10.5.10. Criterio de confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema realice su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo sus condiciones estándares de operación (Lafraia, 2001).

La confiabilidad permite modelar y comprender el desempeño de un sistema, evaluar sus componentes (entradas, salidas y partes internas) y servir de base para decisiones preventivas, correctivas, de inversión y de automatización.

La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (10.18)$$

Donde: $R(t)$: Confiabilidad de un equipo en el tiempo; [%]. e : Constante Neperiana ($e = 2.303$); [adimensional]. λ : Tasa de fallas; [fallas/período]. t : Tiempo; [horas].

10.6. Costo de la actividad de mantenimiento

El costo de mantenimiento es el precio que se paga por las acciones realizadas para conservar o restaurar un equipo a un estado específico. Para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, y teniendo presente que para un administrador una de sus principales tareas será minimizar los costos, entonces es importante conocer su componentes (Azoy, 2014).

10.6.1. Costo de mantenimiento por facturación y eliminación de fallas

Para obtener el costo del mantenimiento por facturación y el costo para la eliminación de las fallas por tipo de equipo en cada mes, se utilizan también las órdenes de mantenimiento. En ellas se refleja la información relacionada con el costo de la mano de obra empleada durante la ejecución de los diferentes trabajos, el costo de los materiales utilizados en el mantenimiento o reparación (Azoy, 2014).

- **Costo de mantenimiento por facturación**

$$COMF = \frac{FEP}{CTMP} \quad (10.19)$$

Donde: $COMF$: Costo de mantenimiento por facturación; [\$]. FEP : Facturación de la empresa en el período; [\$]. $CTMP$: Costos totales de mantenimiento en ese período; [\$].

- **Costo de mantenimiento para eliminación de fallas**

$$COEF = CM + SD + OG \quad (10.20)$$

Donde: *COEF*: Costo de mantenimiento para eliminación de fallas; [\$]. *CM*: Consumo de materiales; [\$]. *SD*: Salarios devengados; [\$]. *OG*: Otros gastos; [\$].

10.7. Cálculo de la frecuencia de inspección del mantenimiento predictivo

Debido a lo anteriormente expuesto y como una forma para calcular de manera formal la frecuencia de las inspecciones predictivas, tomando en cuenta la relación riesgo - costo - beneficio, y justificando así, las decisiones del gerente del área de mantenimiento, en lo concerniente al impacto de las estrategias a ser tomadas en el presupuesto de gastos de fábrica, se desarrolla a continuación un modelo matemático que pretende dar una idea cercana del valor del tiempo entre inspecciones predictivas. El valor del intervalo entre inspecciones predictivas es directamente proporcional a el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como lo hace (Batista, 2014):

$$I = C \cdot F \cdot A \quad (10.21)$$

Donde: *C*: Factor de costo; [adimensional]. *F*: Factor de falla; [años/inspección]. *A*: Factor de ajuste; [adimensional].”

10.7.1. Factor de costo

Es el costo de una inspección predictiva dividido entre el costo en que se incurre por no detectar la falla. Este costo es igual al tiempo que tarda llevar el repuesto desde el almacén (externo o propio) en condición de parada no planificada hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que la presenta (Batista, 2014). La relación del factor de costo es la siguiente:

$$C = \frac{c_i}{c_f} \quad (10.22)$$

Donde: *C*: Factor de costo; [adimensional]. *C_i*: Costo de una inspección predictiva; [\$]. *C_f*: Costo en que se incurre por no detectar la falla; [\$].

10.7.2. Factor de Falla

Es la cantidad de fallas que pueden detectarse con la inspección predictiva dividida entre la rata de fallas (Batista, 2014).

La relación del factor de falla es la siguiente

$$F = \frac{Fi}{\lambda} \quad (10.23)$$

Donde: F : Factor de falla; [años/inspección]. Fi : Cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva; [fallas/inspección]. λ : Rata de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por la tecnología predictiva a ser aplicada; [fallas/años].

10.7.3. Factor de Ajuste

Según (Batista, 2014) se expone que:

“Una vez calculado el producto entre el factor de costo y el factor de falla, se multiplica por un factor de ajuste, el cual, estará basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a λ (número de fallas expresada como fallas por año). Para calcular este factor utilizaremos la función matemática logaritmo natural multiplicada por -1 ($-\ln$), la cual, se comporta de una manera muy parecida al criterio gerencial de incremento o decremento del intervalo de inspección al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año. Para valores de probabilidad de ocurrencia entre 0 y valores cercanos a 0.37, la función arroja resultados desde infinito hasta 1 y para valores de probabilidad entre 0.37 y 1 la función arroja resultados entre 1 y 0. Por lo que a mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial. El factor de ajuste se determina a partir de la probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas se expresa como:”

$$A = -\ln \cdot (1 - e^{-\lambda}) \quad (10.24)$$

A : Factor de ajuste; [adimensional].

10.8. Herramientas, técnicas e instrumentos

Las herramientas, técnicas e instrumentos que serán utilizados para la elaboración de la propuesta tecnológica se detallan en la tabla 10.20.

Tabla 10.20. Técnicas e instrumentos a emplear.

Nº	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Inspección	Cámara fotográfica, observación

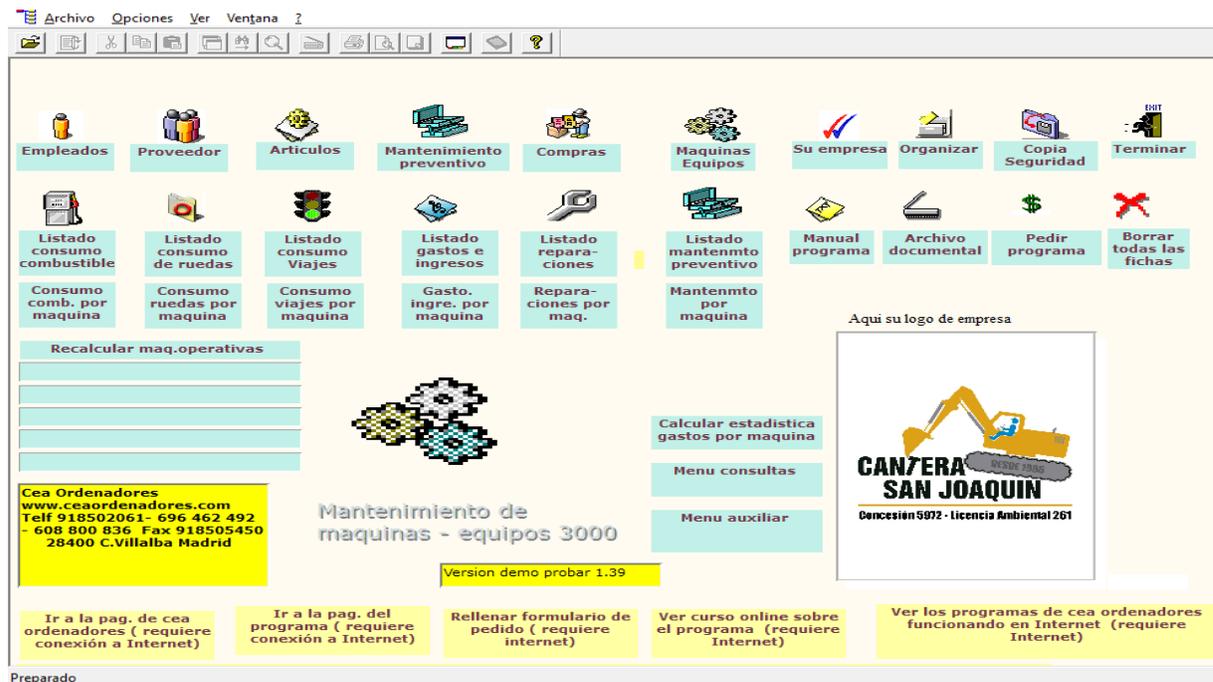
2	Análisis estadístico	Microsoft Excel
3	Análisis de criticidad	Matriz de criticidad
4	Medición de ruido	Sonómetro
5	Aplicación de software para la gestión de mantenimiento	Software mantenimiento 3000 de Cea Ordenadores

10.8.1. Características de software mantenimiento 3000 de Cea Ordenadores

Cea Ordenadores, es una empresa con sede en la sierra madrileña, España; con más de 12 años dedicados a la fabricación de software para la gestión de mantenimiento. El software de mantenimiento 3000, es desarrollado por dicha empresa, permitiendo además adaptarlo a las necesidades concretas de cada una de las empresas., mediante el cual se elabora un plan de mantenimiento completo introduciendo tan solo los equipos con los que cuenta la planta y así obtener los indicadores de mantenimiento más habituales y útiles (Cea Ordenadores, 2017).

En la figura 10.3 se indica la ventana de inicio del software instalado para la gestión de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero de la Cantera San Joaquín 2.

Figura 10.3. Software de mantenimiento 3000 en la Cantera San Joaquín 2.



Elaborado por: Los autores.

11. RESULTADOS

A partir de la razón específica con que fue enfocada la solución al problema fundamentado en la introducción de la presente Propuesta Tecnológica, se consideró pertinente orientar la comprobación práctica hacia el análisis detallado del proceso de implementación del SAM en la cantera San Joaquín 2, mediante la aplicación del procedimiento propuesto anteriormente y que de forma reducida aparece en la figura 8.4, el cuál consta de cuatro fases, cada una está orientada en lograr un objetivo de forma paulatina y metodológicamente bien argumentado. Con esto se pretende demostrar la viabilidad y validez del instrumento metodológico desarrollado y propuesto.

11.1. Desarrollo de la propuesta y análisis de la aplicación del procedimiento de implementación del sistema alternativo de mantenimiento (SAM) en la cantera San Joaquín 2.

Teniendo en cuenta las orientaciones de (Velázquez, 2014), el análisis detallado del proceso de la implementación del SAM en la Cantera San Joaquín 2 se lo presenta a continuación:

11.1.1. Fase No. 1: Inicio.

El desarrollo de la fase inicio incluye la etapa denominada

11.1.1.1.Etapa 1. Conformación del equipo de trabajo.

El equipo de trabajo quedó conformado por tres especialistas de la cantera:

- Encargado de Mantenimiento.
- Técnico de mantenimiento mecánico.
- Técnico de mantenimiento eléctrico.

Los miembros llevarán a cabo las siguientes tareas:

1. Organizar el trabajo de los miembros del equipo, ya sea para el mantenimiento mecánico o eléctrico, esta es una tarea específica de cada jefe de equipo de trabajo.
2. Recopilar la información técnica de cada máquina, necesaria para desarrollar cada una de las etapas del procedimiento.
3. Realizar los cálculos incluidos en cada etapa.

11.1.2. Fase No. 2: Diagnóstico de la gestión de mantenimiento

En la segunda fase, segunda etapa, se detalla el área de mantenimiento y se realiza un levantamiento de información técnica de la cantera San Joaquín 2.

11.1.2.1. Etapa 2. Caracterización del área de mantenimiento en la empresa

Para desarrollar esta fase se propone realizar la descripción del área de mantenimiento y el levantamiento de planta.

1) Descripción del área de mantenimiento en la Cantera San Joaquín 2

Para la propuesta de la implementación del sistema alternativo de mantenimiento en la Cantera, se estableció las siguientes generalidades del área de mantenimiento:

a) Misión del área de mantenimiento

Facilitar eficientemente los servicios de mantenimiento al equipamiento de procesamiento minero y transporte, para el fortalecimiento de las instalaciones y así ofrecer un excelente desempeño en la producción; cuenta con un grupo de 5 trabajadores capacitados y entrenados técnicamente, que desarrollan labores de asistencia requerida a los equipos.

b) Objetivo del área de mantenimiento

El objetivo actual del área de mantenimiento es conservar el equipamiento, instalaciones y servicios de la Cantera San Joaquín 2, minimizando las fallas imprevistas de manera que aumente la productividad y disminuyan los costos, garantizando la seguridad tanto del hombre como del medio ambiente y así mejorar la eficiencia de la organización.

c) Plantilla de personal

Para cumplir con su misión y objetivos, la Cantera cuenta con una plantilla de personal de mantenimiento distribuida de la siguiente manera:

Tabla 11.1. Plantilla de personal del área de mantenimiento.

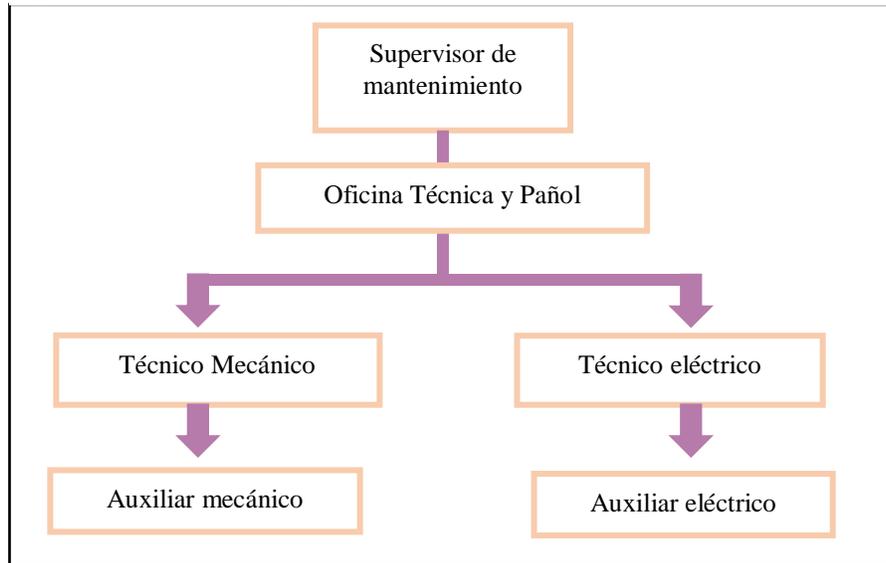
Categoría ocupacional	Cantidad
Supervisor de mantenimiento	1
Oficinista técnico y pañolero	1
Técnico mecánico	1
Auxiliar mecánico	1
Técnico eléctrico	1
Auxiliar eléctrico	1
TOTAL	6

Elaborado por: Los autores.

d) Estructura organizativa

La organización estructural propuesta para el área de mantenimiento se detalla a continuación en la figura 11.1.

Figura 11.1. Estructura organizativa del área de mantenimiento de la cantera San Joaquín 2.



Elaborado por: Los autores.

e) Políticas empleadas

Se propone como política de la cantera, documentar e implementar el SAM para mantener el equipamiento tecnológico en condiciones óptimas y así alcanzar una producción de calidad y un proceso que se encuentre en mejora continua, para brindar productos y servicios de forma eficaz y eficiente en la producción de material pétreo; garantizando el cumplimiento de las regulaciones ambientales, legales y de seguridad y salud en el trabajo.

f) Gestión de los repuestos

Para la gestión de los repuestos se dispone en pañol piezas y accesorios comunes para todos los equipos; para repuestos de rápida reposición se procederá a la adquisición en el momento de la falla, los cuales se encuentran en almacenes de proveedores cercanos.

g) Levantamiento de planta

Con el equipamiento de la planta se garantiza el cumplimiento de los compromisos con los clientes, con la calidad y la oportunidad comprometida, para asegurar la disponibilidad técnica, la cual se logra a través de:

- Planes de mantenimiento empíricos ajustados a las necesidades técnicas de los equipos.
- Uso de la capacidad innovadora de técnicos y del personal de mantenimiento para solucionar desperfectos en función de devolver al equipamiento sus parámetros funcionales y sin deterioro de sus mecanismos fundamentales.
- Combinación de una estrategia de pronóstico para demandas de aseguramientos con la fabricación o rehabilitación de piezas de repuesto en los casos posibles.
- La realización de intervenciones de mantenimiento efectivas en los equipos acorde a las averías que existen.
- La modernización de la tecnología acorde a las posibilidades económicas existentes.

El levantamiento de planta de los equipos, realizado en la planta de producción de la cantera se lo encuentra en el Anexo 7.

11.1.2.2. Etapa 3. Diagnóstico y planificación de la gestión del mantenimiento

En la realización del diagnóstico de la gestión del mantenimiento, se hizo una revisión minuciosa de toda la documentación existente en la cantera San Joaquín 2 (Anexo 3) diseñada por (Pérez, Borroto, & Rodríguez, 2013), centrando su trabajo en los aspectos siguientes:

Administración del mantenimiento

En la planta de producción minera de la cantera San Joaquín 2, la información está sustentada sobre la base de un sistema proveniente de los escasos archivos técnicos de los equipos, pero no existe un registro histórico adecuado y la información es obtenida a partir de revisiones y observación directa al funcionamiento de los equipos. No todos los equipos poseen catálogos, ya que estos son equipos que los han comprado de segunda mano y otros son elaborados en la misma cantera. No conocen con exactitud el costo de pérdida de producción por fallas ni la fiabilidad de los equipos. Cuando la ejecución del mantenimiento concluye la duración del mismo, materiales utilizados, horas de paro, personal que trabajó en la reparación u otra información es reportada por el encargado de mantenimiento de forma verbal sin utilización de documentos. Los técnicos de mantenimiento desconocen el volumen de trabajos a cargo y por ende no disponen de un método o herramienta de control de los trabajos a realizar o realizados.

Nunca se ha realizado un análisis de criticidad de los equipos e instalaciones, por lo tanto estos no están divididos en grupos. Menos del 40% de estos está cubierto por el mantenimiento preventivo

por lo que las intervenciones correctivas son las más frecuentes y las realizan bajo la supervisión del técnico mecánico que posee conocimientos para realizarla.

Servicios de terceros

La empresa no tiene definido un procedimiento para la selección de proveedores de servicios de mantenimiento, las actividades a tercerizar son: reparación de motores a cargo del técnico BARRIGA, distribución de lubricantes por la empresa DIMEX con lubricantes GULF, venta de repuestos mediante SOLUTRUCK y adquisición de elementos mecánicos a través de la Ferretería PACHECO MENA.

Según (Fernández, 2016) el contratista debe demostrar la experiencia suficiente, tener solvencia económica, asumir todas las garantías y poseer seriedad y credibilidad en el servicio que presta. La directiva conoce la calificación del personal técnico que presta el servicio de tercerización es por eso que los contratan.

Personal de mantenimiento

La plantilla de mantenimiento no está definida y cubierta completamente, tienen claramente establecidas sus responsabilidades y tareas a realizar. El perfil del personal se corresponde con las necesidades existentes y la comunicación dentro de la organización no es la adecuada. No existen planes de capacitación para el personal de mantenimiento, y los trabajadores no reciben ninguna información en materia de gestión.

El control sólo se lleva con la información del operario y los equipos en que se han realizado las actividades de mantenimiento. La cantera conoce el costo de la mano de obra por eso toman en cuenta la experiencia del personal de mantenimiento para tomar decisiones debido a que ocupan puestos claves.

Gestión de piezas de repuesto

El equipamiento instalado en la cantera son modelos medianamente actuales, acoplados a las necesidades de producción, estos equipos tienen el diseño de equipos ya existentes en el país, por lo que la adquisición de piezas y repuestos no es de mayor dificultad. No cuentan con un plan de reparaciones y por eso no hay una persona designada para darle seguimiento. La emisión de los pedidos es según las necesidades y averías.

La cantera tiene identificados a los proveedores de partes y repuestos. El sistema de compras es demasiado lento ya que la persona encargada de realizar la compra de piezas y repuestos la mayoría

de veces no realiza una gestión eficiente y se pierde tiempo en la búsqueda de los mismos. No disponen de fichas de stock y repuestos utilizados. Realizan un seguimiento al consumo de lubricantes para los distintos equipos.

Evaluación y control

En la planta de producción minera de la cantera San Joaquín 2 no está definida ninguna norma de evaluación del mantenimiento. No se ha establecido procedimientos documentados para la realización de auditorías a mantenimiento. No disponen de registros de controles estadísticos adecuados para la demostración de la confiabilidad del servicio de mantenimiento. Llevan un control estimado de los gastos de mantenimiento. No realizan comparaciones del desempeño del mantenimiento de la empresa con el de otras organizaciones y no registran operaciones de mantenimiento en sistemas computarizados.

Cuando ocurren no conformidades con los servicios de mantenimiento investigan las posibles causas mediante el diálogo con los operarios y el jefe del área para planificar acciones correctivas. Estas acciones las realizan con los escasos recursos con que cuentan y el compromiso de los trabajadores.

Infraestructura y medios técnicos

En la cantera San Joaquín 2 los talleres poseen una ubicación acertada respecto a los equipos a brindarle mantenimiento y este no se mantiene limpio y ordenado. Los medios existentes en el taller se adecuan al tipo de trabajo que realizan pero son insuficientes. No se encuentra estipulada una política de reemplazo de los equipos, y solo termina la vida útil por una rotura grave. No están catalogadas las herramientas a utilizar en cada área.

Seguridad

En la cantera no hay un número suficiente de personal para elaborar un reglamento interno, pero se acoge a la certificación en que se ha implementado planes de contingencia y prevención de riesgos. El personal que labora en la mina es dotado de todos los implementos de protección, ya sea de uso prolongado o de rápida sustitución para lo cual semanalmente o conforme sea el deterioro sean reemplazados inmediatamente (Anexo 8). En las instalaciones de la mina se cuenta con un botiquín y una enfermería en uso en las instalaciones, en caso de enfermedad o accidentes reciben atención médica en los dispensarios más cercanos ubicados en Lasso o en el hospital con categoría C del mismo lugar.

Medio ambiente

En la cantera se da seguimiento a la restauración de los sectores explotados. Los aceites utilizados durante el proceso los recolectan y entregan a BIOfactor (Anexo 9), para refinarlos y los desechos metálicos ferrosos y no ferrosos (chatarra, limallas, piezas inservibles) son almacenados y vendidos a las chatarreras del sector Lasso.

Aseguramiento de la calidad

La cantera San Joaquín 2 no cuenta con las Normas del Proceso Tecnológico por lo tanto la puntuación en esta área es de 0.

11.1.2.3. Análisis de resultados del diagnóstico y planificación del mantenimiento

A partir del levantamiento en planta y del diagnóstico realizado, fueron detectados un grupo significativo de problemas que afectan la gestión del mantenimiento en la cantera y son expuestos a continuación:

- Se desconoce el costo de pérdida de la producción por fallos de mantenimiento.
- No existe sistema de información computarizado que registre las operaciones de mantenimiento y facilite la toma de decisiones.
- No se conoce el tiempo requerido para diagnosticar un fallo y no se documenta.
- No tienen definido un procedimiento para seleccionar y evaluar a los proveedores del servicio tercerizado.
- Las responsabilidades y tareas del personal las verifican ineficientemente.
- Los trabajadores no reciben capacitación en materia de gestión del mantenimiento.
- El sistema de compras de repuestos es muy lento y con muchas limitaciones.
- Carencia de herramientas para evaluar la gestión del mantenimiento predictivo.

Los resultados del análisis de la gestión del mantenimiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11.2. Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento.

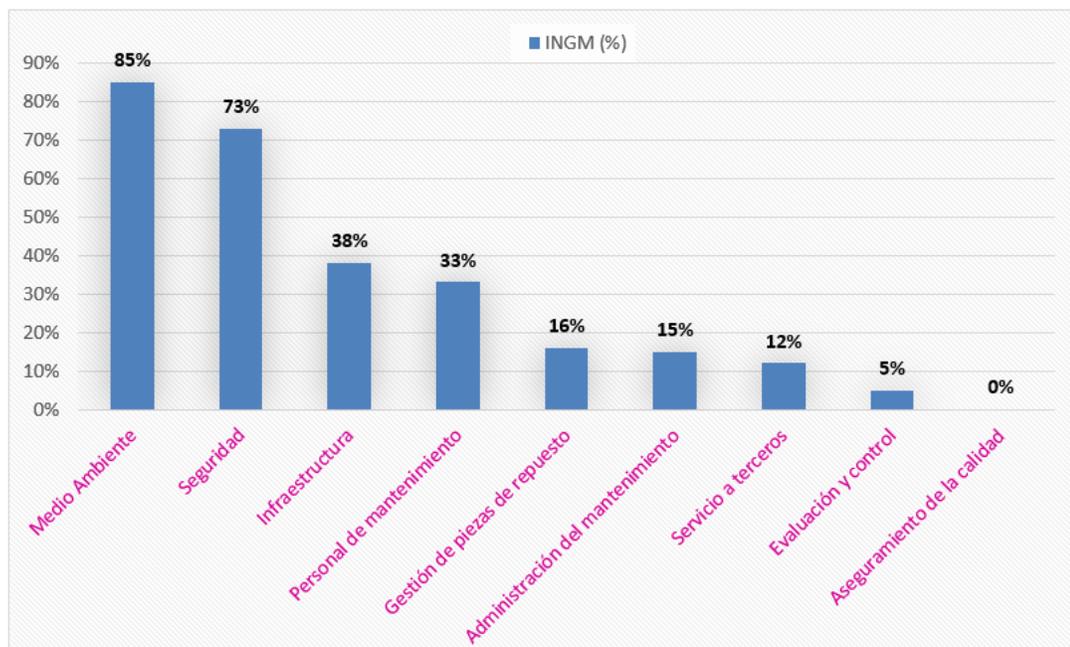
ÁREA	TA_i	$TP_{máx}$	INGM (%)	EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN
Medio Ambiente	23	27	85%	Bien
Seguridad	33	45	73%	Aceptable
Infraestructura	24	63	38%	Deficiente
Personal de mantenimiento	17	51	33%	Deficiente

Gestión de piezas de repuesto	11	69	16%	Deficiente
Administración del mantenimiento	12	81	15%	Deficiente
Servicio a terceros	5	42	12%	Deficiente
Evaluación y control	3	60	5%	Deficiente
Aseguramiento de la calidad	0	45	0%	Deficiente
TOTAL	128	483	27%	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

Al evaluar la gestión del mantenimiento se obtuvo un valor de 27% del INGM, lo que significa que la gestión de mantenimiento en la cantera San Joaquín 2 se evalúa como deficiente. En la figura 11.2 se muestra la distribución del nivel de la gestión de mantenimiento.

Figura 11.2. Distribución del nivel de la gestión de mantenimiento.



Elaborado por: Los autores.

Como se puede observar en la Figura (11.2) las áreas que menores dificultades presentan son medio ambiente y seguridad, el resto de áreas se encuentran en grado de evaluación deficiente; áreas en las que hay que implementar un plan de medidas para mejorar las categorías.

11.1.3. Fase No. 3: Análisis de criticidad del equipamiento

Para realizar el análisis de criticidad se tomó en cuenta la información disponible de los equipos en historial de fallas, mantenimiento y reparaciones, los criterios de los técnicos de mantenimiento, supervisor de mantenimiento y opiniones de los directivos de la Cantera y de MAPAEAGRE,

decidiendo que el proceso se llevó a cabo en una etapa, donde se analizó la inclusión de diferentes criterios para clasificar el equipamiento según lo expuesto en el epígrafe 10.3.1 de la metodología de esta propuesta tecnológica (Los pasos para este procedimiento se muestran en el Anexo 10).

Tabla 11.3. Resultados del análisis de criticidad.

Equipo	ANÁLISIS DE CRITICIDAD												
	Daños al personal		Efecto en la población		Impacto ambiental		Pérdida de producción (\$)		Daños a la instalación (\$)		Consecuencia	Frecuencia de fallos	Criticidad
	R	C	R	C	C	R	C	R	C	R	ΣImpactos		Cr = F · C
TCG-001	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TBI-1	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
ZV1-01	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TSG-01	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TDM-9026	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
MG-3306	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25

Elaborado por: Los autores.

De los resultados obtenidos del análisis de criticidad según se indica en la tabla 11.3 se obtiene que el valor para todos los casos es de 25, siendo este el menor valor de jerarquía, por lo que se procede a determinar en qué valor se encuentra cada equipo según la tabla 11.4.

Tabla 11.4. Valores puntuales de criticidad.

N°	Código	Equipo	Producción			Calidad	Mantenimiento			Seguridad	Valor de criticidad
			Tasa de marcha	Equipo auxiliar	Influencia sobre el proceso	Influencia en la calidad del producto	Costo mensual de mantenimiento	Horas de paro al mes	Grado de especificación	Influencia en la seguridad o medio ambiente	
1	TCG-001	Tolva dosificadora con Greasley	4	5	2	5	4	4	2	5	31
2	TB-001	Transportador de bada	4	5	4	4	2	2	2	4	27
3	ZV-01	Zaranda vibratoria	4	5	4	4	2	2	2	4	27
4	TSG-01	Tolva dosificadora sin greasley	4	5	2	4	2	2	2	4	25
5	TDM-01	Trituradora 9026 con doble mandíbula	4	5	5	2	1	1	2	4	24
6	MG-3306	Generador 3360	4	5	2	2	2	2	2	2	21

Elaborado por: Los autores.

De acuerdo a los resultados del análisis de la tabla 11.4, se muestran los valores de criticidad de los equipos según la valoración de su influencia en la producción, en la calidad de los productos, en la mantenibilidad, disponibilidad y la seguridad operacional. En los resultados se puede observar que los valores obtenidos están en el rango entre 21 a 35 para todas las máquinas evaluadas; según los parámetros establecidos en el procedimiento del Anexo 11 el tipo de mantenimiento que se debe aplicar a nivel de máquina es el mantenimiento preventivo; en este caso se procederá a analizar la selección del mantenimiento a nivel de sistemas y de elementos, proceso recomendado en la aplicación del sistema alterno de mantenimiento.

11.1.3.1. Etapa 4. Clasificación del equipamiento y determinación del subsistema de mantenimiento

En esta etapa se toma como referencia el procedimiento propuesto en el epígrafe 10.4 (Ferrer, 2014). Partiendo de estos criterios los equipos quedaron clasificados de la siguiente forma: (Ver resultados de selección del mantenimiento a nivel de máquinas y elementos en Anexo 12).

Tabla 11.5. Tipo de mantenimiento a nivel de elementos.

Tipo de mantenimiento	Cantidad de elementos
Correctivo	27
Preventivo según índices de fiabilidad	11

Preventivo con medición de parámetros y síntomas	6
Predictivo	8

Elaborado por: Los autores.

Según la tabla 11.5 la mayor cantidad de elementos corresponden al mantenimiento correctivo por ser elementos de baja consecuencia de fallas. A nivel de máquina aplicando el procedimiento utilizado anteriormente se obtiene que todas las máquinas requieren de mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas, concordando con los resultados obtenidos en el análisis de criticidad (Tabla 11.4), de este análisis se recomienda que el mantenimiento se debe aplicar a nivel de elementos.

11.1.4. Fase No. 4: Organización, planificación y gestión del mantenimiento con el SAM en la cantera San Joaquín 2.

Para la organización de la gestión del mantenimiento con el SAM en la cantera San Joaquín 2, se tuvo en cuenta las funciones del mantenimiento dentro de la organización.

11.1.4.1. Etapa 5. Organización del sistema de mantenimiento predictivo o por diagnóstico

Para el desarrollo de esta etapa se identificaron todos los elementos asignados al mantenimiento predictivo, los que se indicaron en la tabla 11.5. Utilizando la metodología propuesta en el epígrafe 10.7 y empleando las ecuaciones desde la 10.21 a la 10.24, se determina la frecuencia de inspección para cada elemento.

En la tabla 11.6 se determina la frecuencia de inspección para los sistemas o elementos que han sido seleccionados con mantenimiento predictivo.

Tabla 11.6. Frecuencia de inspección para sistemas o elementos con mantenimiento predictivo.

Equipos	Sistema o elementos	λ $\left(\frac{\text{Fallas}}{\text{año}}\right)$	F_i $\left(\frac{\text{Fallas}}{\text{Insp.}}\right)$	C_f (\$)	C_i (\$)	A (Adim.)	F $\left(\frac{\text{Años}}{\text{Insp.}}\right)$	C (Adim.)	I $\left(\frac{\text{Horas}}{\text{Insp.}}\right)$	I $\left(\frac{\text{Horas}}{\text{Insp.}}\right)$
Tolvas dosificadoras	Motor	0,4	3	1200	15	1,1	7,5	0,013	898,8	112
	Sist. Eléctrico (Relé, Cables, contactores,)	1,1	7	1354	10	0,3	5,95	0,007	139,9	17
Transportadores de banda	Motor	0,5	2	800	10	0,8	3,6	0,013	331,5	41
Zarandas vibratorias	Motores	0,4	2	750	10	1	4,4	0,013	510,5	64

Trituradora	Motor	0,6	5	1550	15	0,7	7,5	0,01	451,7	56
	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	1,2	4	1650	20	0,3	3,2	0,012	113,1	14
Moto-Generador	Sist. De control y aceleración	2	8	1470	45	0,1	4	0,031	153,8	19
	Sist. De control eléctrico	2,5	6	2680	30	0,08	2,4	0,011	19,8	2

Elaborado por: Los autores.

A partir de los resultados de la tabla 11.6 se diseñaron las hojas de inspección (Anexo 13) de cada sistema o elemento, donde se identifica la frecuencia de las inspecciones en horas por inspección y en días por inspección; de esta manera los resultados arrojan que el sistema de control eléctrico del generador es el que se debe inspeccionar cada dos días, debido a la consecuencia en que se podría incurrir por una falla. De igual manera se observa que el sistema que menos inspecciones requiere al año son los motores de las tolvas dosificadoras, los cuales no han presentado altos historiales de fallas en su vida útil. Al aplicar las guías de inspección, desaparecen los conceptos que se tienen de reparaciones y a los equipos se les corrigen los defectos cuando sean detectados por la inspección programada.

Para registrar la información sobre las actividades de mantenimiento, se utilizan la orden de trabajo y el acta de averías (Anexo 5 y Anexo 14) y al terminar la intervención forma parte del historial de cada equipo que se encuentra en la carpeta técnica.

El flujo informativo propuesto para este subsistema es el siguiente: el supervisor de mantenimiento correspondiente comunica al mecánico que realice una revisión al equipo y este tiene que indicar los defectos detectados en el equipo, a través del diagnóstico personal, los instrumentos de medición si los posee y los señalamientos de los operarios. Realizada la revisión el mecánico informa al supervisor de mantenimiento los defectos encontrados. Si es necesario realizar la intervención al equipo, el mismo mecánico ejecuta la reparación. Realizada la reparación, el supervisor de mantenimiento verifica el trabajo realizado y con el operario del equipo, procede a firmar la orden de trabajo para dar la aprobación del trabajo realizado.

11.1.4.2. Etapa 6. Organización del Sistema de mantenimiento preventivo planificado

En esta etapa, se analizan los equipos que se manejan bajo el sistema de mantenimiento preventivo planificado, el cual viene aplicándose a modo de prueba desde el mes de octubre del 2016, se tomó en cuenta la metodología propuesta en el epígrafe 10.5, utilizando las ecuaciones 10.9, 10.10 y 10.11; evaluándose la eficiencia de la aplicación del mantenimiento preventivo a partir del estado técnico de los elementos.

Tabla 11.7. Evaluación de la eficiencia del mantenimiento preventivo planificado.

Elementos con mantenimiento preventivo	Z _i	e	C
Caja de piñones reductores de revoluciones	1,6	2	0,8
Cardán con crucetas	1,6	2	0,8
Reductor	8	10	0,8
Eje (chumaceras p209)	210	210	1
Rodillos	126	210	0,6
Tambor cola de pato	8	10	0,8
Sistema Eléctrico (Relé, contactores, cables)	2	2	1
Mandíbula fija	0,8	1	0,8
Mandíbula móvil	0,8	1	0,8
Sistema de lubricación	1	1	1
Sistema de combustible	1	1	1
Sistema de enfriamiento	1	1	1
Generador	1	1	1
Eficiencia del mantenimiento preventivo	80,27 % Estado regular, para 452 elementos evaluados		

Elaborado por: Los autores.

El ciclo de reparaciones constituye la parte medular y más importante del MPP, la elección de un ciclo ordenado significa un mejor aprovechamiento del equipo, seguridad de operación, ahorro de piezas, materiales y mano de obra. Según los resultados del análisis de la tabla 11.7 se obtiene que la planificación del mantenimiento preventivo planificado hasta la actualidad alcanza el 80,27 %, clasificado como estado regular, para los 452 elementos evaluados.

Se recomienda que el ciclo de reparación para el equipo que se encuentra en funcionamiento sea entre dos reparaciones generales. Las operaciones a realizar en el ciclo han sido divididas en 4 categorías: Revisión (R), Reparación Pequeña (P), Reparación Mediana (M), Reparación General (G); para el análisis general realizado a nivel de máquinas se han planificado los periodos de reparaciones de acuerdo al estado técnico que presentan (Tabla 10.19).

En este caso los sistemas fueron calificados en estado regular, por lo que se propone iniciar el ciclo de reparaciones por reparaciones pequeñas. El ciclo de reparaciones para cada sistema queda establecido según se indica en la tabla 11.8.

Tabla 11.8. Estructura del ciclo entre reparaciones.

Equipos	Elementos con mantenimiento preventivo planificado	Estructura del ciclo de reparación	Número de operaciones				Duración del ciclo de reparación (h)	Tiempo entre operaciones del ciclo (h)	Tiempo entre reparaciones del ciclo (h)
			G	R	P	M			
Tolvas dosificadoras	Caja de piñones reductores de revoluciones	G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G	2	8	2	1	42525	3543,75	10631,25
	Cardán con crucetas								
Transportadores de banda	Reductor	G-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-R-R-G	2	15	2	2	42525	2126,25	8505
	Eje (chumaceras p209)								
	Rodillos								
	Tambor cola de pato								
Zaranda vibratoria	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G	2	8	2	1	42525	3543,75	10631,25
Trituradora 9026	Mandíbula fija	G-R-P-R-M-R-P-R-M-R-G	2	5	2	2	42525	4252,5	8505
	Mandíbula móvil								
Motogenerador	Sist. De lubricación	G-R-R-R-R-R-P-R-R-R-R-R-M-R-R-R-R-P-R-R-R-R-R-G	2	20	2	1	43200	1800	10800
	Sist. De combustible								
	Sist. De enfriamiento								
	Generador								

Fuente: Elaboración propia.

Los ciclos de reparaciones de cada máquina se aplican solamente a los sistemas de dichas máquinas que se le designó el mantenimiento preventivo planificado, para los cuales se diseñaron sus respectivos planes de mantenimiento (Anexo 15).

11.1.4.3. Etapa 7. Organización del sistema de mantenimiento correctivo

En esta etapa, se analizaron los elementos que requieren de mantenimiento correctivo (tabla 11.9), pero sin embargo se realizan revisiones de funcionamiento diario para la detección de fallas y evitar consecuencias graves en otros elementos y poder obtener un estimado en el paro de producción y consumo de elementos de repuestos.

Tabla 11.9. Elementos con mantenimiento correctivo.

Máquina	Sistema	Elementos
Tolvas dosificadoras	Sistema Mecánico de transmisión de fuerza	Correa Polea
	Sistema Vibratorio	Pesas Resortes Plancha de 1/2 "
	Sistema de soporte	Estructura metálica
	Greasley	Pernos de seguridad
Transportador de banda	Sistema eléctrico y accionamiento	Correa Tambor motriz Banda
	Sistema de soporte	Estructura metálica
Zarandas Vibratorias	Sistema de tamizado	Correa Mallas Cono embudo
	Sistema Mecánico de transmisión de fuerza	Resortes Pesas
	Sistema de soporte	Estructura metálica
Trituradora 9026	Sistema de trituración	Eje Fusible Uña
	Sistema de soporte	Estructura metálica

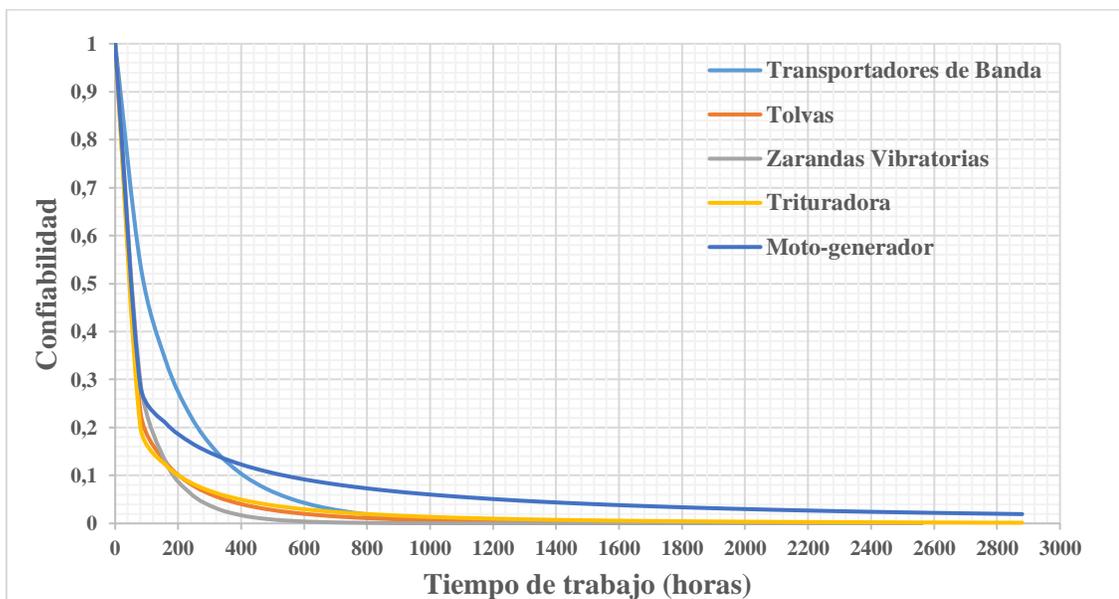
Elaborado por: Los autores.

Los elementos q fueron destinados a mantenimiento correctivo es debido a que las consecuencias de sus fallas no son significativas en la producción. Para la ejecución de este tipo de mantenimiento se reporta la avería y el supervisor de mantenimiento les comunica a los técnicos y elabora el acta de averías (Anexo 14), esta es receptada por los operarios y el encargado de oficina técnica procede a emitir la orden de trabajo que será atendida en el tiempo mínimo posible; una vez concluido el trabajo se firma la orden de mantenimiento por el técnico de mantenimiento y por el supervisor de mantenimiento para archivarla en la carpeta técnica del equipo para la actualización del historial del mismo.

11.1.4.4. Etapa 8. Organización del trabajo de planificación, ejecución y control de la actividad de mantenimiento con el SAM

Para la planificación, ejecución y control de la actividad de mantenimiento en la cantera, se propone partir de todos los documentos que rigen la actividad en el manual del SAM que se acaba de elaborar y para esto se tiene en cuenta el análisis de confiabilidad (Anexo 16) a partir del historial de fallas que han tenido las máquinas. En la figura 11.3 se muestra la tendencia obtenida de fiabilidad para cada tipo de máquina de la cantera.

Figura 11.3. Confiabilidad de los equipos según sus horas de trabajo.



Elaborado por: Los autores.

De manera general se puede observar que el motogenerador tiene mayor confiabilidad en el tiempo, relativo a los demás equipos. Mediante este resultado el supervisor de mantenimiento y el jefe de planta pueden tener la referencia del pronóstico de fallas en función de las horas trabajadas de cada equipo.

Independientemente del subsistema seleccionado en cada equipo, la orden de trabajo es un documento importante, ya que en esta se recoge una gran cantidad de información que es necesaria para mantener el historial de cada equipo.

Para la adecuada gestión de la documentación y órdenes de trabajo se implementó el software de gestión de mantenimiento 3000, el cual se está utilizando como carpeta electrónica, donde se ha adecuado según las necesidades de la empresa (Figura 11.4).

Figura 11.4. Registro de nómina de empleados.

The image shows two side-by-side screenshots of a software application window titled 'Cea Ordenadores - [EMPLEADO: Cesar Freire]' and 'Cea Ordenadores - [EMPLEADO: Santiago Fernández]'. Both windows display a form for employee registration with various fields for personal and contact information, a photo, and job details. The left window shows data for Cesar Freire, and the right window shows data for Santiago Fernández.

Fuente: Software de mantenimiento 3000.

Figura 11.5. Registro de máquinas.

The image shows a screenshot of a software application window titled 'Cea Ordenadores - [maquina]'. The window displays a form for machine registration with various fields for machine details, purchase information, and location. The form includes a photo field and a section for 'Donde esta situada la maquina' with dropdown menus for Empresa, Zona, Seccion, localizacion, and departamento.

Fuente: Software de mantenimiento 3000.

11.1.4.5. Etapa 9. Evaluación periódica del SAM

Desarrolladas las etapas de la 5 a la 8 del procedimiento y una vez organizados los subsistemas de mantenimiento, se procede a la evaluación del SAM en la cantera San Joaquín 2. Para esto se utilizaron las ecuaciones 10.12, 10.13 y 10.14 de los epígrafes 10.5.4, 10.5.5 y 10.5.6 respectivamente. Mediante los historiales de fallas (Anexo 17) se procedió a calcular la disponibilidad de los equipos y de la planta en general.

Tabla 11.10. Disponibilidad técnica de los equipos.

Equipos	Fallas en el mes (u)	NTMC (u)	Total de fallas (h)	TROP (h)	TMEF (h)	HTMC (h)	TMPR (h)	Disponibilidad (%)
Transportadores de Banda	7	1,17	24,25	151,75	130,07	24,25	20,79	86,22%
Tolvas	3	0,50	49,50	126,50	253	49,50	99	71,88%
Zarandas Vibratorias	4	0,67	12	164	246	12	18	93,18%
Trituradora	6	1	97,50	78,50	78,50	97,50	97,50	44,60%
Moto generador	2	0,33	4	172	516	4	12	97,73%
Disponibilidad de la planta								25,17%

Elaborado por: Los autores.

Según los resultados de la disponibilidad técnica de los equipos, se tiene un valor mínimo de 44,60 % y un valor máximo de 97,73 % siendo el motogenerador el equipo de mejor disponibilidad técnica. Para la planta de procesamiento minero la disponibilidad total es de 25,17 %; demostrándose que hay una baja disponibilidad técnica, por lo cual se debe seguir perfeccionando la propuesta del sistema alternativo de mantenimiento, proceso en el cual no se tienen resultados positivos a corto plazo.

Para la evaluación inicial de la implementación del SAM se analiza el costo de todas las actividades de mantenimiento con las ecuaciones 10.19 y 10.20 del epígrafe 10.6.1. Los datos de estos se adquirieron del estado de resultados de cuenta de la cantera (Anexo 18), obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 11.11. Costo de mantenimiento.

FEP (\$)	CTMP (\$)	COMF	CM (\$)	SD (\$)	OG (\$)	COEF (\$)
42 706,52	1 010,96	42,24	726,29	7 488,00	13 296,97	21 511,26

Elaborado por: Los autores.

De los resultados mostrados se concluye que el costo de mantenimiento por facturación (COMF) alcanza el valor de 42,24; siendo este un valor permisible dentro de los gastos totales de la empresa. El costo para eliminación de fallas (COEF) en seis meses es de 21 511,26 \$. Teniendo en cuenta este valor se determina la rentabilidad de las actividades de mantenimiento en la empresa.

12. IMPACTOS

En la ejecución de todo proyecto de investigación y propuesta tecnológica se hace necesario el análisis de la incidencia que se enmarcan en el alcance de los resultados propuestos y la solución al problema identificado; en este sentido, para la implementación del sistema alternativo de mantenimiento en la cantera San Joaquín 2 se han analizado los diferentes impactos que se generan en dicha empresa, relacionados con el objeto de estudio.

12.1. Impacto tecnológico

El mantenimiento es el elemento que en la actividad de la minería hasta finales del siglo pasado solo desempeñaba una función reactiva, limitada en medios y destinada exclusivamente a garantizar el cumplimiento de los programas de producción. El enorme costo de las paradas en la producción ha obligado a cambiar por completo este punto de vista, y las buenas prácticas de mantenimiento han aportado a que las empresas modernas incrementen notablemente sus niveles de productividad y competitividad.

La aplicación del sistema alternativo de mantenimiento en la cantera San Joaquín 2 permite la interrelación de varios tipos de mantenimiento, teniendo en consideración los resultados obtenidos en esta propuesta. Referente a las tecnologías de procesamiento de material pétreo se ve la alternativa de revalorizar la funcionalidad de estas máquinas, considerándose la combinación de criterios de selección de mantenimiento, los historiales de fallas y la fiabilidad, esto posibilita a largo plazo la mejora continua en la disponibilidad técnica del equipamiento. Se resaltan en los resultados del análisis, los beneficios de la aplicación simultánea de diferentes tipos de mantenimiento a nivel de sistemas.

12.2. Impacto económico

A medida que los requisitos de competitividad de las empresas se han ido incrementando, considerándose los costos de producción, sobre todo para intentar reducir los mismos, se ha unido el estudio y establecimiento de los costos de las actividades del mantenimiento.

En el análisis de los costos por concepto de mantenimiento para la implementación del sistema alternativo de mantenimiento de la cantera San Joaquín 2, se consideró el gasto incurrido en el período de seis meses para la eliminación de fallas, teniendo en cuenta los beneficios por concepto de

disponibilidad técnica, para el mismo se aplicó el criterio del VAN y la comparación de la TIR con la tasa de interés del 11,83 %, según se indica en la tabla 12.1.

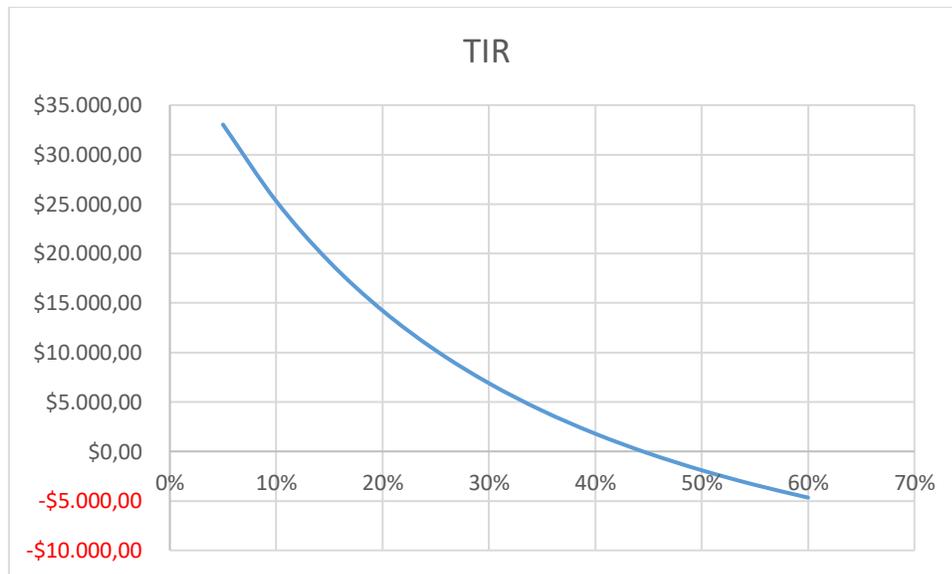
Tabla 12.1. Resultado de cálculo del VAN.

No	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n
0	-21511,26		-21511,26
1	10746,4	112%	9609,58598
2	10746,4	125%	8593,03047
3	10746,4	140%	7684,01187
4	10746,4	156%	6871,15431
5	10746,4	175%	6144,28536
6	10746,4	196%	5494,30864

Elaborado por: Los autores.

En este análisis se obtiene un valor actual neto de 22 885,12 \$ para el período de seis meses, para el mismo caso el valor de la TIR calculado es de 44%, siendo este mayor que la tasa de interés. El comportamiento de la tasa de interés según los beneficios por disponibilidad técnica se muestra en la figura 12.1.

Figura 12.1. Comportamiento de la TIR de las actividades de mantenimiento.



Elaborado por: Los autores.

De los resultados obtenidos se deduce la rentabilidad de los procesos de mantenimiento al ser aplicados correctamente al equipamiento minero.

12.3. Impacto ambiental

Las acciones para prevenir daños al medioambiente deben ser dirigidas a las personas, los equipos y los procesos de mantenimiento. Los factores causales más importantes identificados que pueden propiciar la ocurrencia de impacto al medio ambiente desde el mantenimiento son: los errores humanos, la ausencia de mantenimiento, la aplicación de políticas de mantenimiento incorrectas y procesos de mantenimiento no controlados.

Se realizaron 3 tomas de datos dentro del área minera para identificar y constatar los niveles de decibeles a los cuales están expuestos el personal de la planta de producción. Esto se realizó mediante el uso de un sonómetro integrador, provisto con un sistema de almacenamiento de datos. Adicionalmente se evaluó el tipo de ruido y se determinó que cuando se realiza el proceso de clasificación de material en la criba emiten un ruido del tipo estable.

Características del equipo de medición

- **Tipo:** Sonómetro
- **Marca:** THOMAS SCIENTIFIC
- **Serie No:** 971107038
- **Modelo:** 1356
- **Calibración:** según ISO 17025, cumple con los criterios de la ANSI.
- **Resolución:** + 0.1dB
- **Precisión:** + 2dB
- **Método de Medición:** En lectura modo lento, usando el filtro A.

El nivel de ruido de fondo se estableció bajo condiciones de ausencia del ruido generado por la fuente de objeto de evaluación. A continuación se describen los niveles de ruido corregidos en la tabla siguiente:

Tabla 12.2. Nivel de ruido corregido.

Puntos de medición	Nivel de ruido medido (dB A)	Nivel de ruido de fondo	Nivel de ruido corregido (dB A)
1	68,53	53,5	68,56
2	68,43	53,5	68,51
3	68,95	53,5	68,77

Elaborado por: Los autores.

En los puntos de medición se cumple con los límites establecidos de la norma técnica de la ordenanza como se indica a continuación (Tabla 12.3):

Tabla 12.3. Nivel máximo permisible.

Nivel de ruido ambiental	"San Joaquín 2"	Nivel Max. Permissible
Criba NPSeq (dB A)	68,58	70

Elaborado por: Los autores.

El área minera "San Joaquín 2" pertenece al grupo de la zona industrial (3) y (4) es decir que aprovecha el uso de recursos no renovables, el valor obtenido es de 68,58 dB (A) estando este dentro del límite permisible (Tabla 12.4).

Tabla 12.4. Niveles máximos de ruido permisibles según el uso de suelo.

Tipo de zona según uso de suelo	Nivel de presión sonora dB (A)		Banco mundial	
	06:00 a 20:00	20:00 a 06:00	07:00 a 22:00	22:00 a 07:00
Zona hospitalaria y educativa (1)	45	35	55	45
Zona residencial	50	40	55	45
Zona residencial mixta (2)	55	45	55	45
Zona Comercial (3)	60	50	70	70
Zona comercial mixta (2)	65	55	70	70
Zona industrial (4)	70	65	70	70

Elaborado por: Los autores.

El tiempo máximo de explotación es de 32 horas lo que significa que para el área de libre aprovechamiento no resulta perjudicial para sus trabajadores ya que el tiempo de trabajo es de 10 horas, sin embargo se le debe proveer de equipos auditivos para minimizar al máximo el ruido dentro del área (Tabla 12.5).

Tabla 12.5. Tiempo de explotación bajo el criterio de daño auditivo.

Nivel de presión sonora dB (A)	Tiempo máximo de explotación (horas)
75	32
85	8
80	16
90	4
95	2
100	1
105	0,5
110	0,25
115	0,125

Elaborado por: Los autores.

13. VALORACIÓN ECONÓMICA Y/O PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR LA PROPUESTA DEL PROYECTO

Los gastos proyectados para la elaboración de la propuesta tecnológica son los siguientes:

Tabla 13.1. Presupuesto para el desarrollo de la propuesta.

PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN				
Recursos	Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
Equipos				
Sonómetro (Alquiler/hora)	5	h	60	300
Transporte y salida de campo (detallar)				
Llegada y salida a la mina	64	u	2,5	160
Material Bibliográfico y fotocopias.				
Impresiones	80	u	0,08	6,4
Copias	320	u	0,05	16
Internet	200	h	0,6	120
Gastos Varios				
Alimentación	32	u	2,5	80
Otros Recursos				
Anillado	8	u	3	24
Flash memory	2	u	10	20
Cuaderno de apuntes	2	u	1	2
Recargas telefónicas	10	u	3	30
Sub Total				758,40
10%				75,84
TOTAL				834,24

Elaborado por: Los autores.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- Con la implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento para los equipos de procesamiento minero de la Cantera San Joaquín 2, se identificó el tipo de mantenimiento adecuado para cada máquina, buscando la mejora de disponibilidad, productividad y estado técnico. La implementación del programa de gestión de mantenimiento propuesto permitirá reducir costos y mantener una producción constante a largo plazo.
- Al evaluar la gestión del mantenimiento según el INGM, se obtuvo un valor de 80,27 %, lo que significa que la gestión de mantenimiento en la cantera San Joaquín 2 se evalúa como deficiente. La planificación del mantenimiento preventivo planificado hasta la actualidad se clasifica como estado regular, para los 452 elementos evaluados.
- En la identificación del tipo de mantenimiento se obtuvo que la mayor cantidad de elementos corresponden al mantenimiento correctivo, para un total de 27 elementos con baja consecuencia de fallas; con mantenimiento preventivo según índices de fiabilidad se tiene 11 elementos y 6 elementos para el mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas; en el caso del mantenimiento predictivo se asignaron 8 elementos.
- Para el periodo evaluado el costo actual de mantenimiento por facturación (COMF) alcanza un valor de 42,24, siendo este permisible dentro de los gastos totales de la empresa; el costo para la eliminación de fallas (COEF) es de 21 511,26 \$.
- Se obtiene un valor actual neto de 22 885,12 \$ para el período de seis meses, para el mismo caso el valor de la TIR calculado es de 44 %, siendo este mayor que la tasa de interés; por lo tanto se deduce la rentabilidad de los procesos de mantenimiento al ser aplicado correctamente al equipamiento minero.
- Los niveles de ruido medidos en las tolvas dosificadoras son de 68,58 dB con 10 horas diarias de exposición, para lo cual se determina el cumplimiento del nivel máximo permisible que es de 70 dB con 32 horas diarias de exposición.

14.2. Recomendaciones

- Utilizar la propuesta tecnológica para que la gestión de mantenimiento sea óptima, confiable y disminuir paros imprevistos en la producción.
- En el mantenimiento preventivo planificado se recomienda que el ciclo de reparación para el equipo que se encuentra en funcionamiento sea entre dos reparaciones generales.
- Establecer grupos técnicos de trabajo, ya sea mantenimiento preventivo, correctivo o programado.
- Del análisis de equipos, sistemas y elementos se recomienda que el mantenimiento se debe aplicar a nivel de elementos.
- Llevar un control a los registros de averías, reparaciones y nuevas instalaciones que se realicen en los equipos con el fin de conocer con exactitud los parámetros de mantenimiento.
- Realizar un inventario de herramientas y equipos para ejecutar de manera eficiente los planes de mantenimiento y así prolongar la vida útil de las máquinas.
- Elaborar el presupuesto anual de gastos operacionales y de mantenimiento de los equipos, elementos e insumos, teniendo en cuenta los historiales de gastos, y de este modo dar un seguimiento a los gastos incurridos por las actividades de mantenimiento.
- Utilizar adecuadamente la documentación necesaria, recomendadas en el proceso de mantenimiento correctivo.
- Se debe proveer de equipos auditivos al personal de la Cantera para minimizar al máximo el ruido al que se encuentran expuestos dentro del área.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H. (2012). Auditoría y evaluación de la gestión de la calidad en el mantenimiento. La Habana: CEIM, ISPJAE.
- Aguado, N. (2008). Mantenimiento preventivo en máquinas herramientas. La Habana: EMPES.
- Aguilar, J. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnol. Ciencia (IMIQ)*, 11. Obtenido de [C:/Users/USUARIO/Downloads/5-%20Análisis%20de%20criticidad%20\(1\)](C:/Users/USUARIO/Downloads/5-%20Análisis%20de%20criticidad%20(1).).
- Azoy, A. (2014). Método para el cálculo de indicadores. *Ingeniería Agrícola*, 4(4), 45-49. doi: ISSN-2326-1545
- Batista, C. (2014). Cálculo de la frecuencia de inspección. *Tecnologías proactivas y de diagnóstico* (pág. 5). Holguín: Universidad de Holguín.
- Borroto, Y. (2005). Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. *Resumen de Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas*, 53. Las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Cea Ordenadores. (2017). *Cea Ordenadores*. Recuperado el 31 de marzo de 2017, de <http://www.ceaordenadores.com/quienes-somos>
- De la Paz, E. (1994). Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. *Ingeniería Industrial*, 15(3).
- Dirección de Investigación - UTC. (2016). *Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de www.utc.edu.ec
- Fernández, W. (2016). Plan de mantenimiento utilizado en la empresa. (V. López , & R. Ruiz, Entrevistadores)
- Ferrer, B. (2014). Mantenimiento preventivo en reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral. Moa: ISMM.

- González, C. (2012). Determinación de la disponibilidad de las cosechadoras de arroz New Holland TC-57 durante el período de garantía en las condiciones del Complejo Agroindustrial Arroceros Los Palacios. Universidad Agraria de La Habana, Mecanización Agropecuaria, La Habana.
- González, F. (2005). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: Fundación Cofemental.
- Huerta-Mendoza, R. (2010). *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/44645225/ANALISIS-DE-CRITICIDAD>
- Lafraia, J. (2001). Manual de Confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad. Qualitymark.
- Lovaina, M. (2006). *Toma de decisiones en la programación del mantenimiento considerando la confiabilidad*. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría.
- Martínez, E. (2009). Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la industria Textil Cubana: un proceso de mejora continua. *Revista Techno*, 5.
- Morrow, H. S. (1986). Organization and Administration of the Maintenance. Houston: s.n.,
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (Edición en español ed.). Buenos Aires, España: Aladon Ltd.
- Muñoz, M. B. (2003). *Tecnología de máquinas*. Leganés.
- Navarrete, E., & González, J. (1986). *Mantenimiento Industrial*. La Habana: EMPES.
- Navarrete, E., Treto, O., & Rodríguez, J. (2016). La ingeniería del mantenimiento en un binomio Gestión & Calidad. La Habana, La Habana, Cuba: CEIM.
- Palomino, E. (1999). Elementos de Mediciones y Análisis en Máquinas Rotatorias. La Habana, La Habana, Cuba: CEIM.
- PEMEX. (2016). *Metodología de Análisis de Criticidad*. México: Subdirección de Recursos Humanos y Relaciones Laborales.

- Pérez, H. M., Borroto, P. Y., & Rodríguez, M. A. (2013). Realización de una auditoría de mantenimiento en la UEB Pasteurizadora Cubanacán de Placetas. Santa Clara, Cuba.
- Portuondo, P. F. (1989). Sistema alternativo de mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 120.
- Renove Tecnología S.L. (2009). *RENOVETEC*. Obtenido de <http://www.renovetec.com/>
- Rivera. (2011). *Sisbib*. Obtenido de Evolución y Clasificación del mantenimiento: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20\(para%20Inform%C3%A1tica\)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20(para%20Inform%C3%A1tica)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf)
- SENPLADES. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017. En F. Falconí, & S. Vásquez, *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013* (Primera ed., pág. 602). Quito, Pichincha, Ecuador.
- Shkiliova, L., González, C., & Ribet, Y. (2011). Disponibilidad de las cosechadoras de arroz New Holland TC-57 durante el período de garantía en las condiciones del Complejo Agroindustrial Arroceros Los Palacios. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Tavares, L. (2012). *Mantenimiento Productivo Total*. Costa Rica.
- Tedeschi, P. (1979). *Proyecto de Máquinas*. Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- UNESCO. (10 de Octubre de 1997). *es.unesco.org*. Obtenido de www.ub.edu/portal/documents/34829/459928/codigos+unesco.pdf/c5a61d3b-f072-4d98-b85c-a58ac6072bfb
- Velázquez, E. (25 de Marzo de 2014). Implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento en la Empresa Gráfica de Villa Clara. Obtenido de DSpace@UCLV: <http://dspace.uclv.edu.cu/>
- Velazquez, P. (25 de marzo de 2014). *DSpace@UCLV*. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://dspace.uclv.edu.cu>
- Veloz, E., Chapalvay, M., & Jaramillo, L. (2016). *Auditoría Ambiental de cumplimiento "Área minera San Joaquín 2"*. Latacunga: VELRUB CONSULTORA.

Velóz-Ramírez, E. (2008). Informe de Auditoría Ambiental. Área Minera San Joaquín 2. Código 5972.

ANEXOS

Anexo 1A. Información personal del equipo de trabajo.

1. DATOS PERSONALES

Nombres: Ángel Marcelo
Apellidos: Tello Cóndor
Fecha de Nacimiento: 22 de junio de 1976
Cedula de identidad: 050151855-9
Estado Civil: Casado
Dirección: Latacunga - Centro
Teléfono Móvil: 0993394177
E-mail: angel.tello@utc.edu.ec
Lugar de Nacimiento: Latacunga Cotopaxi

SECUNDARIA:

- **Institución:** Instituto Barba Naranjo
- **provincia:** Cotopaxi
- **Ciudad:** Latacunga
- **Título:** Bachiller Técnico Mecánico Industrial

PRIMARIA:

- **Institución:** Escuela Isidro Ayora
- **Provincia:** Cotopaxi
- **Ciudad:** Latacunga

Anexo 1B. Currículum vitae de las coordinadoras de la propuesta tecnológica.

2. DATOS PERSONALES

Nombres: Viviana Marcela
Apellidos: López Auquilla
Fecha de Nacimiento: 12 de octubre de 1988
Cedula de identidad: 060392663-5
Estado Civil: Soltera
Dirección: Salcedo Centro - Latacunga
Teléfono Móvil: 0998493985
E-mail: vivi_1210lopez@hotmail.com
Lugar de Nacimiento: Chimborazo-Riobamba-Lizarzaburu

SECUNDARIA:

- **Institución:** Unidad Educativa "RIOBAMBA"
- **Provincia:** Chimborazo
- **ciudad:** Riobamba
- **Título:** Bachiller en Físico Matemático

PRIMARIA:

- **INSTITUCIÓN:** Escuela 21 de Abril
- **PROVINCIA:** Chimborazo
- **CIUDAD:** Riobamba

Anexo 1C. Currículum vitae de las coordinadoras de la propuesta tecnológica.

3. DATOS PERSONALES

Nombres:	Rosa Angélica
Apellidos:	Ruiz Naranjo
Fecha de Nacimiento:	17 de febrero de 1989
Cedula de identidad:	172305165-0
Estado Civil:	Soltera
Dirección:	Salcedo Centro - Latacunga
Teléfono Móvil:	0987378009
E-mail:	rosi_uhu@hotmail.com
Lugar de Nacimiento:	Sto. Dogo de los Tsáchilas – Santo Domingo

SECUNDARIA:

- **INSTITUCIÓN:** Colegio Particular “MARISTAS PIPO XII”
- **PROVINCIA:** Sto. Dogo de los Tsáchilas
- **CIUDAD:** Santo Domingo
- **TÍTULO:** Bachiller en Físico Matemático

ENSEÑANZA PRIMARIA:

- **INSTITUCIÓN:** Escuela “Mi Pequeño Gran Mundo”
- **PROVINCIA:** Sto. Dogo de los Tsáchilas
- **CIUDAD:** Santo Domingo

Anexo 2: Material pétreo de la Cantera San Joaquín 2.

Figura N° 1 Sub base 4.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 2 Sub base 3 y 2.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 3 Arena fina.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 4 Arena.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 5 Piedra bola.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 6 Piedra coco.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°7 Piedra gruesa.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°8 Piedra sobredimensionada.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N° 9 Piedra partida/ basílica.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°10 Molón 2 caras.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°11 Chispa clasificada.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°12 Ripio clasificado.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°13 Polvo de piedra.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°14 Triturado de ½” a ¾”.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín 2.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Figura N°15 Triturado de ¾” a 1”.



Fuente: Pág. web cantera San Joaquín.
(<http://www.canterasanjoaquin.com/>)

Anexo 3: Método de diagnóstico y planificación de la gestión del sistema alterno de mantenimiento.

Las funciones identificadas con los números (1.1, 1.2, 1.3) corresponden a las siguientes funciones:

- 1.1 = Sistema de información.
- 1.2 = Organización y planificación.
- 1.3 = Gestión del presupuesto.

Tabla 1. Administración del mantenimiento.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
1.1	1.1.1	¿Sabe con exactitud cuál es el costo de pérdida de producción/servicio por falla?	No	Rara vez	A veces	Sí
	1.1.2	¿La documentación económica se encuentra correctamente ordenada y es accesible para la toma de decisiones, (para la confección de los planes de mantenimiento, costos de mantenimiento, consumo de materiales, piezas de repuesto y acciones de mantenimiento)?	No			Sí
	1.1.3	¿Posee en cada área los catálogos e información técnica de todos los equipos (marca, modelo, país de procedencia, ciclos de mantenimiento, piezas importantes del equipo y su costo, función del equipo, puesta en marcha)?	Nunca, no les es útil	Rara vez	A veces	Sí, siempre, les es útil

1.1	1.1.4	¿Posee registros históricos, de los mantenimientos, para cada equipo, tipo de operación, frecuencia, duración, y causas de las averías, intervalos de mantenimiento y duración, recursos materiales y humanos empleados?	No	Inadecuado	Sí, mejorable	Sí, Adecuado
	1.1.5	¿La información capturada en terreno es legible, útil y oportuna?	No	Legal pero poco útil	Es útil pero inoportuna	Sí
	1.1.6	¿Tiene información precisa para llevar índices de control de eficiencia y eficacia?	No	Rara vez	En ocasiones	Sí
	1.1.7	¿Sabe exactamente el número de trabajos pendientes por período?	No	Rara vez	A veces	Sí
	1.1.8	¿Existe un software que arroje información suficiente y efectiva para la toma de decisiones en el área de mantenimiento?	No	Suficiente, pero inefectiva	Efectiva pero insuficiente	Sí
	1.1.9	¿El sistema aporta información fiable?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
1.2	1.2.1	¿Se implementa un Plan de Mantenimiento Programado?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	1.2.2	¿Se encuentran definidos los objetivos del área de mantenimiento y están acorde con la política de la empresa?	No	Objetivos definidos pero no acordes	Algunos objetivos no están acordes	Sí
	1.2.3	¿Tiene calculado el volumen de trabajos de mantenimiento que puede hacer?	No	Sí, pero no es válido	Mejorable	Sí

1.2	1.2.4	¿Se utilizan adecuadamente los órdenes de Trabajo y se lleva el control de avance de las mismas?	No	Se utilizan pero no se controlan	Se utilizan pero se controlan	Sí
	1.2.5	¿El flujo de la orden de trabajo es adecuado?	No			Sí
	1.2.6	¿Se recoge en la misma la duración de la intervención, si es preventiva o correctiva, fecha de inicio y terminación del trabajo realizado, equipo y departamento al que pertenece, materiales repuestos utilizados, personal que ejecuta el trabajo, incidencias y observaciones?	No	En alguna medida	En su mayoría	Sí
	1.2.7	¿Se conoce el tiempo requerido para hacer el diagnóstico de un fallo?	No			Sí
	1.2.8	¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectivo el mantenimiento?	No			Sí
	1.2.9	¿Se mantiene un levantamiento de las reparaciones diarias?	No			Sí
	1.2.10	¿Existe compatibilidad de la toma de decisiones entre producción y mantenimiento?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	1.2.11	¿Se ha realizado un análisis de criticidad de los equipos?	Nunca	SÍ, pero inadecuado	Sí, pero hay que estudiarlo	Sí, y está bien hecho
	1.2.12	¿Qué porcentaje está cubierto por mantenimiento preventivo?	Menos 40	Entre 40 y 75	Entre 76 y 90	Menos de 90

1.2	1.2.13	¿El organigrama de mantenimiento está actualizado y completo?	No existe	Desactualizado e incompleto	Actualizado e incompleto	Sí
	1.2.14	¿Existe el plan de lubricación y de conservación actualizado por equipos?	No existe	Desactualizado	Actualizado	Sí
	1.2.15	El programa de mantenimiento preventivo incluye: listas de verificación para lubricación, con inspecciones detalladas, personal específico asignado y diagnóstico (si se realiza) de análisis de vibraciones, aceite y termografía	No	Establece muy pocos elementos	Establece casi todos los elementos	Sí
1.3	1.3.1	¿Está definido un presupuesto anual para gastos de mantenimiento y obedece a un análisis de las necesidades?	No	Sí, pero no obedece las necesidades		Sí
	1.3.2	¿El departamento de mantenimiento o la dirección a la cual se subordina participa en la previsión del presupuesto para mantenimiento?	No	Casi nunca.	En ocasiones	Sí, siempre
	1.3.3	¿El presupuesto para mantenimiento garantiza la adquisición de los recursos para la organización, planificación, ejecución y control del mantenimiento?	No	En alguna medida	En ocasiones	Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_i^9 = 1TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

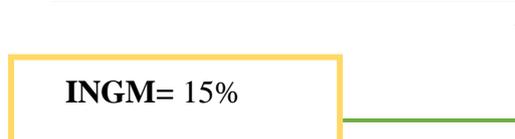
TA_i = Puntuación real obtenida.

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible.

$TA_i = 12$

$TP_{m\acute{a}x} = 81$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
(95 ≤ INGM ≤ 100)	Excelente
(85 ≤ INGM < 95)	Bien
(60 ≤ INGM < 85)	Aceptable
(INGM < 60)	Deficiente



Las funciones identificadas con los números (2.1, 2.2, 2.3) corresponden a las siguientes funciones:

- 2.1 = Selección y evaluación de proveedores.
- 2.2 = Administración de las relaciones.
- 2.3 = Selección de las actividades a tercerizar

Tabla 2. Servicios de terceros.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
2.1	2.1.1	¿Tiene definido un procedimiento para la selección de proveedores de servicios de mantenimiento, y se lleva a cabo según los criterios de técnica y de competencia?	No			Sí
	2.1.2	¿Los procedimientos para la selección proveedores de mantenimiento están correctamente implementados?	No	Preocupante	Mejorable	Sí

2.1	2.1.3	¿Se incluyen cláusulas de resultados en los contratos con empresas contratistas?	No	Rara vez	A veces	Sí
	2.1.4	¿Se desarrollan garantías de calidad y colaboración con los contratistas?	No	Casi nunca	En ocasiones	Sí
	2.1.5	¿Se conoce la calificación del personal técnico que presta el servicio de tercerización?	No	En algunos casos	Casi siempre	Sí
	2.1.6	¿Se verifica el cumplimiento de la garantía?	No	Casi nunca	Habitualmente	Sí
2.2	2.2.1	¿Se elaboran los documentos descriptivos de los trabajos y los pliegos de condiciones?	No	Rara vez	A veces	Sí
	2.2.2	¿Tiene un procedimiento establecido para evaluar y homologar los proveedores?	No	Sí, pero mal establecido	Sí, pero mejorable	Sí
	2.2.3	¿Se dispone de un procedimiento que permita llevar a cabo una acción de seguimiento que incluya la reevaluación de los proveedores que no han actuado satisfactoriamente?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	2.2.4	¿Existe un presupuesto para la tercerización de mantenimiento en la empresa?	No			Sí

2.2	2.2.5	¿Se encuentra definido lo necesario para establecer el control de recepción de equipos intervenidos por el contratista?	No	Sí, pero mal definido	Sí, pero mejorable	Sí
2.3	2.3.1	¿Se encuentra definida una política para la contratación de trabajos de mantenimiento, incluyendo sus metas y objetivos?	No	Sí, pero mal definido	Sí, mejorable	Sí
	2.3.2	¿Sabe qué actividades es más rentable tercerizar que realizar con recursos propios?	No			Sí
	2.3.3	¿Resulta efectiva la política de contratación existente?	No	En algunos casos.	Casi siempre	Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

$TA_i = 5$

$TP_{m\acute{a}x} = 42$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

INGM= 12%

Las funciones identificadas con los números (3.1, 3.2, 3.3) corresponden a las siguientes funciones:

- 3.1 = Estructura y plantilla de personal.
- 3.2 = Calificación, plan de formación, evaluación.
- 3.3 = Motivación y participación.

Tabla 3. Personal de mantenimiento.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
3.1	3.1.1	¿La plantilla de mantenimiento se encuentra definida y cubierta adecuadamente?	No			Sí
	3.1.2	¿Están claramente las responsabilidades y tareas del personal? ¿Se verifican periódicamente?	No	Si, pero no se verifican	Sí, se verifican inmediatamente	Sí
	2.1.3	¿El perfil del personal se corresponde con las necesidades existentes?	No			Sí
	3.1.4	¿Existen los procesos de comunicación adecuados dentro de la organización?	No	Existen, pero inadecuadas	Existen, pero son mejorables	Sí
	3.1.5	¿Qué porcentaje del personal de mantenimiento está ligado a un plan de incentivos basado en la producción?	Menos de 50	Entre 50 y 75 %	Entre 76 y 99 %	100
3.2	3.2.1	¿Se poseen planes de actualización, capacitación y adiestramiento del personal de mantenimiento?	No			Sí
	3.2.2	¿Considera que el nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento?	No	Rara vez	A veces	Sí

3.2	3.2.3	¿Quién recibe la capacitación?	Especialistas de mantenimiento	Especialistas de mantenimiento y supervisores de línea	Especialistas de mantenimiento, supervisores y operarios	Especialistas de mantenimiento, supervisores, operarios y personal de mantenimiento
	3.2.4	¿Los operarios realizan tareas simples de mantenimiento?	No	Rara vez	A veces	Sí
	3.2.5	¿Tiene registros de los operarios que trabajan en los equipos?	No			Sí
	3.2.6	¿Están definidos los métodos y procedimientos para evaluar el desempeño del personal?	No	Sí, pero mal definidos	Sí, pero pueden mejorarse	Sí
	3.2.7	¿Se conoce con exactitud cuál es el costo de la mano de obra de mantenimiento?	No			Sí
	3.2.8	¿Los trabajadores reciben de manera periódica Formación en materia de gestión de mantenimiento?	No	Rara vez	A veces	Sí
3.3	3.3.1	¿La fluctuación del personal afecta la ejecución de los planes de trabajo?	Sí			No
	3.3.2	¿El personal se encuentra motivado a realizar su labor y desarrollar sus iniciativas?	No			Sí
	3.3.3	¿El criterio del personal de mantenimiento es tomado en cuenta para la toma de decisiones?	No	Rara vez	A veces	Sí

3.3	3.3.4	¿Existe buena comunicación entre el personal de producción y el de mantenimiento?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
-----	-------	---	----	-------------	-----------	----

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^n TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

$TA_i = 17$

$TP_{m\acute{a}x} = 51$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

INGM = 33%

Las funciones identificadas con los números (4.1, 4.2) corresponden a las siguientes funciones:

4.1 = Gestión de Compras.

4.2 = Gestión de Inventarios.

Tabla 4. Gestión de piezas de repuesto.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
4.1	4.1.1	¿Hay alguna persona designada particularmente para encargarse del seguimiento de los pedidos?	No			Sí
	4.1.2	¿Se opina que el plazo de emisión de un pedido es lo suficientemente corto?	Muy largo	Mayormente largo	Medianamente corto	Suficientemente corto

4.1	4.1.3	¿Se conoce el tiempo de abastecimiento para cada grupo de repuestos?	No	En casi ningún grupo	En algunos grupos	Sí
	4.1.4	¿Está definido e implementado un sistema para la inspección y ensayo de las entradas de repuestos al almacén?	No	Se está definiendo	Está definido, pero aún no se ha implementado	Sí
	4.1.5	¿Se encuentran identificados y clasificados los proveedores de partes y repuestos?	No	Se están definiendo	Se encuentran identificados, pero aún no se han clasificado	Sí
	4.1.6	Un plan de acción para darle respuesta a solicitudes de repuestos de emergencia?	No	Sí, pero está mal definido	Sí, pero es mejorable	Sí
	4.1.7	¿Existen indicadores para evaluar la eficacia del sistema de compras de piezas y repuestos?	No	Existen, pero inadecuados	Existen, pero son mejorables	Sí
	4.1.8	¿El sistema de compra de piezas y repuestos es ágil?	Demasiado lento	Lento	Sí, pero es mejorable	Sí
	4.2	4.2.1	¿Las fichas de stock se encuentran en todo momento actualizadas (manualmente o informatizada)?	No están actualizada	Fichas mal actualizadas	Actualizadas de manera manual	Sí, y están informatizadas

4.2	4.2.2	¿Se hace correctamente un seguimiento del consumo de repuestos para los distintos equipos?	No	Se hace, pero mal	Se hace, pero puede mejorar	Sí
	4.2.3	¿Se puede disponer con facilidad del valor y número de artículos en stock?	No	Rara vez	A veces	Sí
	4.2.4	¿Está bien definido el punto de pedido y las cantidades a reaprovisionar para cada artículo en stock?	No	Sí, pero está mal definido	Sí, pero es mejorable	Sí
	4.2.5	¿Existe una lista de repuestos mínimos a mantener en stock y se actualiza periódicamente?	No	Existe pero no es válida	Puede ser mejorada	Sí
	4.2.6	¿Con qué frecuencia las listas de nuevos pedidos son enviados a compras?	No se envían	Mensualmente	Cada 3 días	Diariamente
	4.2.7	¿Todos los criterios para seleccionar el repuesto mínimo son coherentes?	No	Casi ningún criterio es coherente	Casi todos los criterios son coherentes	Sí
	4.2.8	¿Existe un sistema coherente y adecuado para realizar inventarios del material contenido en el almacén?	No	Existe, pero es inadecuado	Existe, pero es mejorable	Sí

4.2	4.2.9	¿Puede definir el tamaño necesario del inventario para garantizar determinada disponibilidad del equipo?	No			Sí
	4.2.10	¿Se conoce la ubicación física de todo lo existente en el almacén?	No	En algunos casos	Casi siempre	Sí
	4.2.11	¿Está definido e implementado un procedimiento para el pronóstico de la demanda de piezas de repuesto?	No	Está, pero mal elaborado	Está, pero puede ser mejorado	Sí
	4.2.12	¿Es adecuado el estado físico de los almacenes y los medios unitarizadores?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	4.2.13	¿Se conoce con exactitud cuál es el costo de los repuestos de cada equipo?	No	Se conoce el costo de repuesto de algunos equipos	Se conoce el costo de repuesto de casi todos los equipos (Más del 80%)	Sí
	4.2.14	¿Existen y se aplican indicadores para evaluar la eficacia del almacén?	No	Sí existen, pero se aplican rara vez	Existen, pero se aplican solo a veces	Sí

4.2	4.2.15	¿El documento para el control de materiales y repuestos a utilizar establece: número de la Orden de trabajo, número de solicitud, material solicitado, cantidad, unidad de medida, código, precio (MN y/o USD), importe, área (entidad donde se utiliza), firma del que autoriza (nombre y apellidos) y firma del que recibe los materiales (nombre y firma)?	No	Establece muy pocos de estos parámetros	Establece casi todos estos parámetros	Sí
------------	---------------	---	----	---	---------------------------------------	----

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$NGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

$TA_i = 11$

$TP_{m\acute{a}x} = 69$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
(95 ≤ INGM ≤ 100)	Excelente
(85 ≤ INGM < 95)	Bien
(60 ≤ INGM < 85)	Aceptable
(INGM < 60)	Deficiente



Las funciones identificadas con los números (5.1, 5.2, 5.3) corresponden a las siguientes funciones:

5.1 = Organización de la evaluación.

5.2 = Empleo de indicadores.

5.3 = Auditoría y Toma de decisiones.

Tabla 5. Evaluación y control.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
5.1	5.1.1	¿Se han establecido procedimientos documentados para la realización de auditorías internas?	No	Sí, pero mal establecidos	Sí, pero se pueden mejorar	Sí
	5.1.2	¿Está definido como norma, la evaluación del mantenimiento y es respetada por los integrantes del área?	No	Sí, pero mal definido	Sí, pero se pueden mejorar	Sí
	5.1.3	¿Se han identificado, para cada actividad de mantenimiento, los parámetros o características del servicio que han de controlarse?	No	Sí, pero mal identificado	Sí, pero se pueden mejorar	Sí
	5.1.4	¿Se dispone de registro de controles estadísticos adecuados para la demostración de la confiabilidad del servicio de mantenimiento?	No			Sí

5.1	5.1.5	¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?	No	Algunas veces	Casi siempre	Sí
	5.1.6	¿Se encuentran estipulados los tiempos estándares para el mantenimiento de equipos?	No			Sí
5.2	5.2.1	¿Se poseen parámetros confiables para realizar el control y evaluación de los servicios de mantenimiento?	No	Algunas veces	Casi siempre	Sí
	5.2.2	¿Están definidos y utilizándose un grupo de indicadores para realizar la evaluación y control del mantenimiento?	No			Sí
	5.2.3	¿Resultan adecuados los indicadores definidos para la evaluación y control del mantenimiento?	No			Sí
	5.2.4	¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallos?	No	Sí, pero mal cuantificado	Sí, pero se puede mejorar	Sí
	5.2.5	¿Se lleva un control estadístico de los gastos de mantenimiento por equipos?	No	Casi nunca	Habitualmente	Sí
	5.2.6	¿Se lleva un control del grado de avance de las órdenes de Trabajo?	No	Algunas veces	Casi siempre	Sí

5.3	5.3.1	¿Se compara el desempeño del mantenimiento con el de organizaciones similares para conocer cuán bien se marcha (Benchmarking)?	No	Casi nunca	Habitualmente	Sí
	5.3.2	¿Existe un sistema para investigar las causas de las no conformidades del servicio de mantenimiento?	No	Existe, pero es ineficiente	Existe, pero se puede mejorar	Sí
	5.3.3	¿Qué porcentaje de las inspecciones de mantenimiento preventivo son controladas para asegurar su cumplimiento?	Menos de 40	Entre 40 y 75	Entre 76 y 90	Más de 90
	5.3.4	¿Qué porcentaje de las operaciones de mantenimiento son registradas por la computadora?	Menos de 41	Entre 40 y 76	Entre 76 y 91	Más de 91
	5.3.5	¿Qué porcentaje de las compras e inventarios de mantenimiento son controladas por medio de la computadora?	Menos de 42	Entre 40 y 77	Entre 76 y 92	Más de 92
	5.3.6	¿Se planifican acciones correctivas para deficiencias encontradas en las auditorías o evaluaciones internas, con plazos de consecución determinados?	No	Sí, pero mal planificadas	Sí, pero se puede mejorar la planificación	Sí
	5.3.7	¿Se toman medidas de seguimiento asegurar la eficacia de las acciones correctivas?	No	Casi nunca	Casi siempre	Sí

5.3	5.3.8	¿Los resultados del mantenimiento se analizan y se toman decisiones a partir del análisis efectuado?	No	Casi nunca	Habitualmente	Sí
-----	-------	--	----	------------	---------------	----

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^n TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

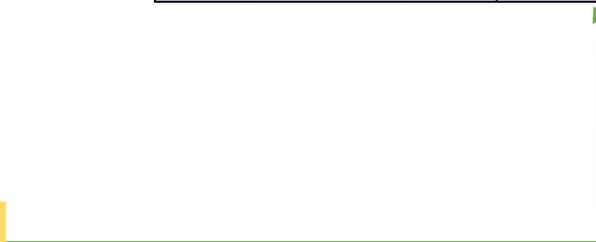
$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

$TA_i = 3$

$TP_{m\acute{a}x} = 60$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

INGM= 5%



Las funciones identificadas con los números (6.1, 6.2, 6.3) corresponden a las siguientes funciones:

6.1 = Instalaciones.

6.2 = Equipamiento.

6.3 = Medios técnicos y herramientas.

Tabla 6. Infraestructura.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
6.1	6.1.1	¿Está determinada, proporcionada y mantenida la infraestructura necesaria que permita alcanzar la conformidad con la prestación del servicio de mantenimiento?	No			Sí
	6.1.2	¿Es suficiente el espacio disponible en el taller de mantenimiento para poder realizar todos los trabajos demandados?	No			Sí
	6.1.3	¿El taller de mantenimiento está bien ubicado respecto a los equipos a brindarle mantenimiento?	No			Sí
	6.1.4	¿Todos los equipos se encuentran colocados adecuadamente dentro del taller de mantenimiento y debidamente señalizados?	No	Casi ninguno	Casi todo	Sí

6.1	6.1.5	¿El taller de mantenimiento está limpio y ordenado?	No	Casi nunca	Casi siempre	Sí
	6.1.6	¿Las oficinas están limpias y ordenadas?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	6.1.7	¿Se cuenta con los medios adecuados en las oficinas (ordenadores, impresoras, teléfonos, etc.)?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	6.1.8	¿El taller cuenta con medios adecuados al tipo de trabajo que se realiza?	No	Carencias importantes	Faltan algunos	Sí
6.2	6.2.1	¿Sabe el valor de adquisición y residual de cada uno de sus equipos?	De ninguno	De casi ninguno.	De casi todos	De todos
	6.2.2	¿Tiene un levantamiento de planta que describa e identifique a todos los equipos a mantener?	No	Describe a algunos equipos	Describe a casi todos los equipos	Sí
	6.2.3	¿Tiene definida la tasa de depreciación de cada equipo?	No	Para algunos equipos	Para casi todos los equipos	Sí
	6.2.4	¿Se consulta al personal de mantenimiento y/o producción para la selección de nuevo equipamiento?	No	Casi nunca	Casi siempre	Sí

6.2	6.2.5	¿Se encuentra estipulada una política de reemplazo de equipos en la empresa?	No	Sí, pero está mal estipulada	Sí, pero es mejorable	Sí
	6.2.6	¿Los equipos están limpios y en buen estado técnico?	< 20%	Entre el 20 y 60%	Entre el 61 y 89%	Entre 90 y 100%
6.3	6.3.1	¿Su organización tiene catalogadas las herramientas a utilizar en cada tarea?	No	Sí, pero mal catalogado		Sí
	6.3.2	¿La instrumentación utilizada en el mantenimiento tiene una calibración certificada?	No			Sí
	6.3.3	¿Las herramientas existentes se corresponden con las que se necesitan?	No	Carencias importantes	Faltan algunas	Sí
	6.3.4	¿Se mantienen las herramientas?	Nunca	Casi nunca	Habitualmente	Siempre
	6.3.5	¿Está garantizada las suficientes las herramientas para realizar las labores de mantenimiento?	No	En alguna medida	En gran medida	Sí
	6.3.6	¿Existe un inventario considerable de las herramientas que se usan para el mantenimiento?	No	Mucha diferencia con lo que hay	Sí, pero no es completo	Sí y es correcto
	6.3.7	¿Los útiles y herramientas se encuentran cerca del taller de mantenimiento?	No	No tan cerca	Relativamente cerca	Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

$TA_i = 24$

$TP_{m\acute{a}x} = 63$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
(95 ≤ INGM ≤ 100)	Excelente
(85 ≤ INGM < 95)	Bien
(60 ≤ INGM < 85)	Aceptable
(INGM < 60)	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

INGM= 38%

Las funciones identificadas con los números (7.1, 7.2, 7.3) corresponden a las siguientes funciones:

7.1 = Formación periódica en seguridad.

7.2 = Control del Plan de Seguridad.

7.3 = Control de evaluación de riesgos.

Tabla 7. Seguridad.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
7.1	7.1.1	¿Los trabajadores reciben formación en seguridad?	No			Sí
	7.1.2	¿Esta formación es la adecuada?	No	Más o menos	En gran medida	Sí

7.2	7.2.1	¿Existe un plan de seguridad en la empresa?	No	Preocupante	Mejorable	Sí
	7.2.2	¿Este plan de seguridad se aplica correctamente?	Nunca	En ocasiones	Casi siempre	Siempre
	7.2.3	¿El plan resulta adecuado?	No	Poco adecuado	Mejorable	Sí
	7.2.4	¿Se realizan auto-inspecciones periódicas que verifiquen el cumplimiento de los planes de medida?	No			Sí
7.3	7.3.1	¿Los talleres de mantenimiento se localizan en un lugar apropiado y sin posibles riesgos?	Lugar inapropiado y sin posibles riesgos	Lugar regular (necesarias mejoras mayores)	Lugar apropiado (posibles mejoras)	Lugar apropiado y sin riesgos
	7.3.2	¿Se ha efectuado la evaluación de riesgos al personal?	No	Sí, pero está mal hecha	Sí, pero es mejorable	Sí
	7.3.3	¿Se cuenta con un programa de prevención de riesgos relacionados con la seguridad?	No			Sí
	7.3.4	¿Los trabajadores conocen los riesgos a los que están expuestos durante la jornada laboral?	No	En alguna medida	En gran medida	Sí
	7.3.5	¿La empresa cuenta con medios de protección individual?	Ninguna	Algunos	Varios	Todos
	7.3.6	¿Los trabajadores usan los medios de protección individual?	Nunca	A veces	No siempre	Siempre

7.3	7.3.7	¿Se investigan las causas de accidentabilidad?	No			Sí
	7.3.8	¿Se conocen por parte de los trabajadores los planes de contingencia ante catástrofes?	No			Sí
	7.3.9	¿Se lleva a cabo un programa de atención a la salud de los trabajadores?	No			Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

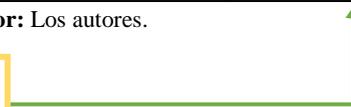
$TA_i = 33$

$TP_{m\acute{a}x} = 45$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

INGM = 73%



Las funciones identificadas con los números (8.1, 8.2,) corresponden a las siguientes funciones:

8.1 = Control del Plan Medioambiental.

8.2 = Formación periódica medioambiental.

Tabla 8. Medio Ambiente.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
8.1	8.1.1	¿Existe un plan medioambiental?	No	Sí, pero está mal hecho	Es mejorable	Sí, está bien hecho
	8.1.2	¿En este plan se analizan adecuadamente los aspectos medioambientales y su significación?	No	Sí, pero está mal hecho	Mejorable	Sí
	8.1.3	¿Este plan se lleva a cabo correctamente?	Nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
	8.1.4	¿El personal actúa de acuerdo con el plan medioambiental?	Nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
	8.1.5	¿El tratamiento aplicado a los desechos peligrosos es el adecuado?	No	A veces	Casi siempre	Sí
	8.1.6	¿La entidad cumple con las medidas de seguridad de almacenamiento de productos químicos, peligrosos para el Medio Ambiente?	No	A veces	Casi siempre	Sí

8.2	8.2.1	¿Existe formación periódica medioambiental?	No			Sí
	8.2.2	¿Esta formación es la correcta?	No	Más o menos	En gran medida.	Sí
	8.2.3	¿Los trabajadores conocen los impactos que ocasionan en su puesto de trabajo?	No	Más o menos	En gran medida.	Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

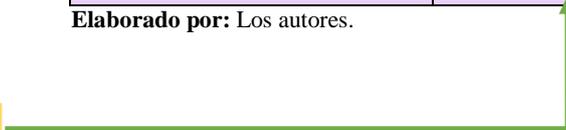
$TA_i = 23$

$TP_{m\acute{a}x} = 27$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

INGM = 85%



Las funciones identificadas con los números (9.1, 9.2, 9.3) corresponden a las siguientes funciones:

9.1 = Normas del Proceso tecnológico.

9.2 = Normas de Inspección del Proceso.

9.3 = Código de prácticas de higiene.

Funciones	No	Aspectos	Desfavorable 0	1	2	Favorable 3
9.1	9.1.1	¿Existe las Normas del Proceso Tecnológico, por etapas de los productos a elaborar y se revisan?	No	Sí, pero está mal hecho	Es mejorable	Sí, está bien hecho
	9.1.2	¿Se conocen y utilizan las normas de proceso tecnológico por la dirección y personal de mantenimiento?	No	Más o menos	En gran medida	Sí
	9.1.3	¿Existe aseguramiento petrológico y cumple con los parámetros de proceso?	Nunca	A veces	En gran medida	Siempre
	9.1.4	¿Existe capacitación del personal en este aspecto?	No			Sí
	9.1.5	¿La administración toma medidas necesarias cuando se violan los parámetros de las normas de los procesos?	No	A veces	En gran medida	Sí
9.2	9.2.1	¿Existe las normas de inspección del proceso y se cumplen de acuerdo al tiempo establecido por etapas?	No	Sí, pero está mal hecho	Es mejorable	Sí

9.2	9.2.2	¿Se conocen las normas de inspección del proceso y se inspecciona por ellas?	No	A veces	Casi siempre	Sí
	9.2.3	¿Se capacita el personal técnico y obrero para el cumplimiento de las etapas del proceso?	No			Sí
	9.2.4	¿La administración toma las medidas necesarias cuando se violan los parámetros de las normas de inspección?	No	A veces	En gran medida	Sí
9.3	9.3.1	¿Existe el código de prácticas de higiene?	No	Sí, pero está mal hecho	Mejorable	Sí
	9.3.2	¿Se conoce el código de prácticas de higiene y se practica por los operarios?	No	Más o menos	En gran medida	Sí
	9.3.3	¿Se capacita al personal técnico y obrero para el cumplimiento?	No			Sí
	9.3.4	¿Se conocen las reglas de manipulación de los procesos para lograr su inocuidad?	No	Más o menos	En gran medida	Sí
	9.3.5	¿La estructura interna y el equipamiento responden a las exigencias del proceso y son fáciles de limpiar?	No	En alguna medida	Casi siempre	Sí
	9.3.6	¿Se capacita al personal en materia de limpieza y desinfección?	No			Sí

Fuente: (Velázquez, 2014).

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

TA_i = Puntuación real obtenida

$TP_{m\acute{a}x}$ = Puntuación máxima posible

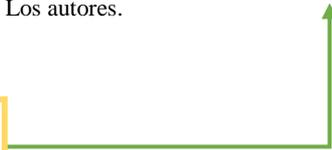
$TA_i = 0$

$TP_{m\acute{a}x} = 45$

Intervalos de INGM (%)	Evaluación de la gestión
$(95 \leq INGM \leq 100)$	Excelente
$(85 \leq INGM < 95)$	Bien
$(60 \leq INGM < 85)$	Aceptable
$(INGM < 60)$	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

INGM= 0%



- Análisis total de la evaluación de la gestión de mantenimiento en los equipos de procesamiento minero en la Cantera San Joaquín 2.

Tabla 10. Análisis.

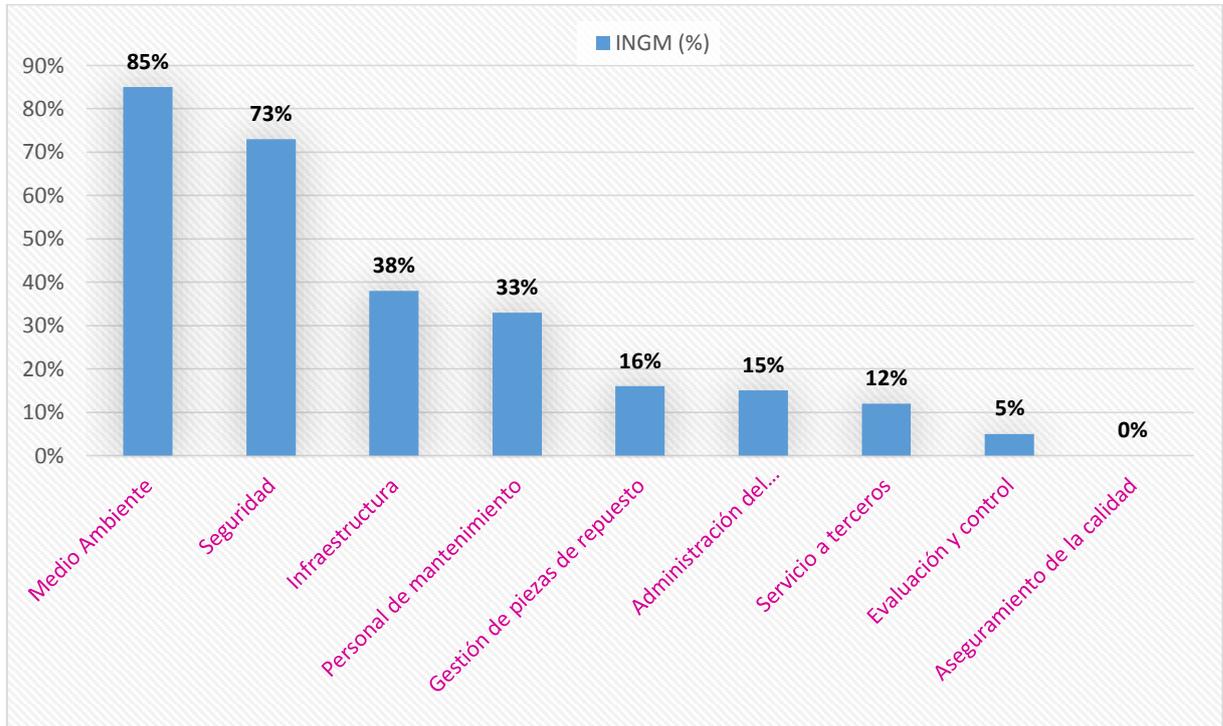
ÁREA	TA_i	TA_i	INGM (%)	EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN
Medio Ambiente	23	27	85%	Bien
Seguridad	33	45	73%	Aceptable
Infraestructura	24	63	38%	Deficiente
Personal de mantenimiento	17	51	33%	Deficiente
Gestión de piezas de repuesto	11	69	16%	Deficiente
Administración del mantenimiento	12	54	15%	Deficiente
Servicio a terceros	5	42	12%	Deficiente
Evaluación y control	3	60	5%	Deficiente
Aseguramiento de la calidad	0	45	0%	Deficiente
TOTAL	128	456	28%	Deficiente

Elaborado por: Los autores.

$$INGM = \frac{\sum_{i=1}^9 TA_i}{\sum TP_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

- En la siguiente figura se muestra el porcentaje de cada punto de la evaluación de la gestión de mantenimiento

Figura 1. Análisis total de la evaluación de la gestión de mantenimiento.



Elaborado por: Los autores.

Anexo 4: Control de consumo energético del generador.

La tarjeta ayudará a controlar el tiempo de trabajo, el consumo de combustible y así gestionar y optimizar la energía que se consume.

Tabla 1. Tarjeta de control de consumo energético del generador.

						
TIEMPO DE TRABAJO						
Combustible planificado		Tiempo de trabajo				
Consumo (Litros)		Tiempo de trabajo planificado				
Equipo		Horas	Días	Semanas	Meses	Horas/Año
Generador eléctrico		8	6	4	12	2304
Marca	Modelo	Tiempo de trabajo real				
CATERPILLAR	3360	Horas	Días	Semanas	Meses	Horas/Año
Consumo A1:I18 de combustible real (Litros)						

Elaborado por: Los autores.

Anexo 5: Orden de mantenimiento para los equipos de procesamiento minero de la cantera San Joaquín 2.

Tabla 1. Orden de mantenimiento.

				Orden de mantenimiento	
				N°	
Lugar:			Código de identificación:		Trabajo realizado
Fecha	Hora	Máquina	Días de permanencia		
			En operación	En mantenimiento	
Identificación del problema					

Elaborado por: Los autores.

Anexo 6: Tablas guías para ver los ciclos de reparaciones.

Tabla 1. Valor del coeficiente (N).

Tipo de producción	N
En masa	1.0
En serie	1.3
En serie pequeña o individual	1.5
Para todo tipo de equipos menos grúas y elevadores	

Fuente: (Velázquez, 2014).

Tabla 2. Valor de (N) para grúas y elevadores.

Régimen de trabajo	N
Grúas y monorraíles que se operan manualmente y trabajan en cualquier régimen.	4.0
Grúas y otros equipos de elevación de motor eléctrico que trabajan en régimen ligero , o sea desmontaje y montaje de equipos de producción básica	3.0
Grúas y otros equipos de elevación de motor eléctrico que trabajan en régimen medio y en talleres de producción en serie pequeña. Grúas eléctricas que trabajan en secciones de tratamiento térmico.	2.0
Grúas y otros equipos de elevación de motor eléctrico que trabajan en régimen difícil o sea, continuo y pesado, en talleres de producción básicas fundición, almacenes, etc.	1.0
Grúas y otros equipos de elevación de motor eléctrico que trabajan con régimen muy difícil en talleres metalúrgicos.	0.5

Fuente: (Velázquez, 2014).

Tabla 3. Valor del coeficiente (M).

Equipos industriales	Acero de construcción	Acero de alta calidad	Aleación de aluminio	Hierro fundido o y bronce	Trabaja con abrasivos	Madera	Arena
De precisión normal y de precisión	1.0	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0	1.0

Fuente: (Velázquez, 2014).

Tabla 4. Valor del coeficiente (Y).

Equipos industriales		Condiciones de abrasivos seco	Trabaja en condiciones normales	Trabaja en locales con polvo y humedad	Trabaja en locales separados especialmente
De precisión normal		.....	10	0,8	.....
De precisión		.....	12	.....	14
Trabajos con abrasivos	Precisión normal	0,7	10	0,8	.....
	Acta precisión	.....	11	.....	13

Fuente: (Velázquez, 2014).

Tabla 5. Valor del coeficiente (Z).

Equipos industriales	Z
Livianas y medianas hasta $0 \leq X \leq 10ton$	1
Grandes y pesadas entre $10 \leq X \leq 100ton$	1,35
Muy pesadas y únicas con más de $100ton \leq X \leq \infty$	1,75

Fuente: (Velázquez, 2014).

Tabla 6. Valor de (K) para distintos equipos.

Equipos industriales	
Máquinas herramientas	K= [hrs]
Livianas y medianas hasta $0 \leq X \leq 10ton$	
a) Con tiempo de explotación 20 años	26000
b) Con tiempo de explotación mayor de años	23400
Grandes y pesadas entre $10 \leq X \leq 100ton$	
a) Con tiempo de explotación 20 años	52700
b) Con tiempo de explotación mayor de años	47400
Super pesadas con más de $100ton \leq X \leq \infty$	
a) Con tiempo de explotación 20 años	66300
b) Con tiempo de explotación mayor de años	59670
Tabla 6. Equipos industriales	
Equipos de elaboración de madera	K= [hrs]
Máquinas para acepillar madera y cepillos de cuatro caras	14000

Fresadoras y taladradoras con avance mecánico e hidráulico	19000
Sierras, tornos y taladradoras con avance manual	23500
Equipos de forja y prensado	K= [hrs]
Máquinas automáticas de forja	11700
Martillos y prensas de fricción	14000
Cortadoras	19000
Prensas mecánicas e hidráulicas, grandes y únicas	21000
Equipos de fundición	K= [hrs]
Mezcladoras y cementos	4500
Máquinas de hacer machos	7000
Máquinas moldeadoras con una capacidad de hasta 5 ton y de más de 5 ton y desmenuzadoras	9500
Transportadores de arena caliente	7000
Transportadores de arena seca	8000
transportadores de arena húmeda y centrífugas	11700
Equipos de elevación y transporte	K= [hrs]
Equipos de elevación, grúas monorrailes y diferenciales eléctricos	14000
Todo tipo de equipo con menos de 3 grados de complejidad	21000

Fuente: (Velázquez, 2014)

Anexo 7. Levantamiento de planta.

A continuación se detalla las especificaciones técnicas y de funcionamiento de los equipos de procesamiento minero.

Tabla 1. Levantamiento de planta.

Levantamiento de planta									
1.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Velocidad del Motor	Volumen de recepción		
TCG-01	Tolva dosificadora con Greasley 	1	INCOMA Q	400 x 100	Planta de producción.- Recepción de material	2500 rev/min	9 m ³	Recopilación del materia pétreo minado por desbanque, aparece mediante la regulación de distancia del Greasley, permitiendo la clasificación la primaria variable del material.	Reductor de velocidades (daño en los piñones)
2.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Velocidad de banda	Volumen de aceite del reductor		
TB-01	Transportador de banda 	10	INCOMAQ	-	Planta de producción.- Transporte continuo de material pétreo.	1,5 m/s	5 Lts.	Grupo de equipos de transporte continuo encargado de la distribución de los materiales pétreos clasificados.	Cinta transportadora y motoreductores

3.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Velocidad del motor	Estado de mallas		
ZV-01	Zaranda vibratoria 	2	INCOMAQ	4 x 50	Planta de producción.- Clasificación de material pétreo	2500 rev/min	Bueno	Equipos encargados del tamizaje en 3 clases de material recibido de los transportadores de banda	Mallas y ángulos
4.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Velocidad del Motor	Volumen de recepción		
TSG-01	Tolva Dosificadora sin Greasley 	1	SJ30080	3 x 80	Planta de producción.- Recepción de material ya clasificado y triturado.	2500 rev/min	80	Equipo encargado de la recepción de material clasificado, el cual pasa a triturar	Reductor de velocidades (daño en los piñones)

5.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Velocidad del motor	Niveles de aceite del reductor		
TDM-9026	Trituradora 9026 con Doble Mandíbula 	1	METSO	9026	Planta de producción.- Triturado del material pétreo	2500 rev/min	1 Lt.	Equipo encargado de la reducción del tamaño medio de las piedras con un diámetro mayor a 1 1/4 pulg. hasta 26 pulg., donde pasan por otra banda para su posterior clasificación.	Mandíbulas
6.									
Código de identificación	Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Ubicación	Condiciones Operacionales		Filosofía operacional	Falla representativa
						Potencia	Frecuencia		
MG-3306	Generador 3360 	1	CATERPILLAR	3360	Casa de máquinas	250 k VA	60 Hz	Grupo electrógeno de generación distribuida, encargada de suministrar la energía eléctrica a los equipos de procesamiento minero.	Automático

Elaborado por: Los autores.

Anexo 8: Hoja de firmas de entrega de equipo de protección personal para trabajadores.

AREA MINERA SAN JOAQUIN 2 CODIGO 5972
LICENCIA AMBIENTAL Nro.- 261
ACTA RECEPCION ENTREGA DE EQUIPOS DE SEGURIDAD

En Lasso lunes 16 de Mayo del 2.016, el Titular del Area Minera San Joaquin 2 tiene a bien entregar a su personal, la indumentaria de trabajo y el respectivo equipo de seguridad, el cual el trabajador asume la responsabilidad de cuidarlo y hacer el uso correcto del mismo dentro de las labores que se lleven acabo en su lugar de trabajo. El titular se compromete a reemplazar enmediatamente el equipo de seguridad que presente desgaste o defecto por el normal uso de los mismo previo a la devolución del articulo usado.

NOMBRES Y APELLIDOS	OPERO	BOTAS DE SEGURIDAD	CASCO	GUANTES	GAFAS	CHALECO REFLECTIVO	MASCARILLA	PROTECTORES AUDITIVOS	FIRMA
EDUARDO CAIZA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>[Signature]</i>
FREDDY ANALUISA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>[Signature]</i>
RAMIRO FERNANDEZ A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>[Signature]</i>
SANTIAGO FERNANDEZ A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>[Signature]</i>
VINOCUNGA JOSE M.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>[Signature]</i>

[Signature]
 MIN. SAN JOAQUIN
 16/05/2016

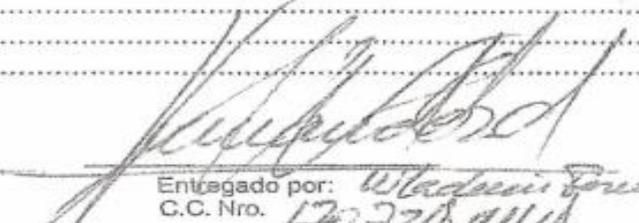
Anexo 9: Hoja de BIOFACTOR.



FORMULARIO DE RECEPCIÓN DE ACEITES USADOS EN LOS ESTABLECIMIENTOS

Fecha: 29 / 12 / 2014 Hora: 6:20 0008875
Nombre del establecimiento: COSTERA S.A. S. 50000172
Nombre del Representante Legal o Propietario: WLODIMIR FERNANDEZ
Lubricadora Lavadora Mecánica Concesionario Otros
Especificar Otros: RUC: 1707249114000
Dirección: PAVO FRONTE K0724 STARITA Sector: CASSO Teléfono: _____
Vehículo Biofactor Nro: 03 Nombre del Conductor: J. Sanchez
Cantidad de Aceite recibido del establecimiento: 55 Galones
Observaciones: _____


Recolectado por:
BIOFACTOR


Entregado por: Wladimir Fernandez
C.C. Nro. 1707249114

Anexo 10. Evaluación del análisis de criticidad según categoría de impactos y frecuencia.

Tabla 1. Categoría de frecuencias.

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

Fuente: (Aguilar, 2010)

Frecuencia de fallos por año: 5

Tabla 2. Categoría de impactos.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Fuente: (Aguilar, 2010)

Tabla 3. Datos de impactos de falla en Tolva dosificadora con greasley.

Equipo	Tolva dosificadora con greasley									
	Daños al personal		Efecto en la población		Impacto Ambiental		Pérdida de Producción (\$)		Daños a la instalación (\$)	
	Rango	Categoría	Rango	Categoría	Categoría	Rango	Categoría	Rango	Categoría	Rango
TCG-1	Sin impacto en el personal de la planta	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de criticidad

$$\text{Impacto Total} = \text{Daños al personal} + \text{Efecto en la Población} + \text{Impacto Ambiental} + \text{Pérdida de Producción} + \text{Daños a la Instalación}$$

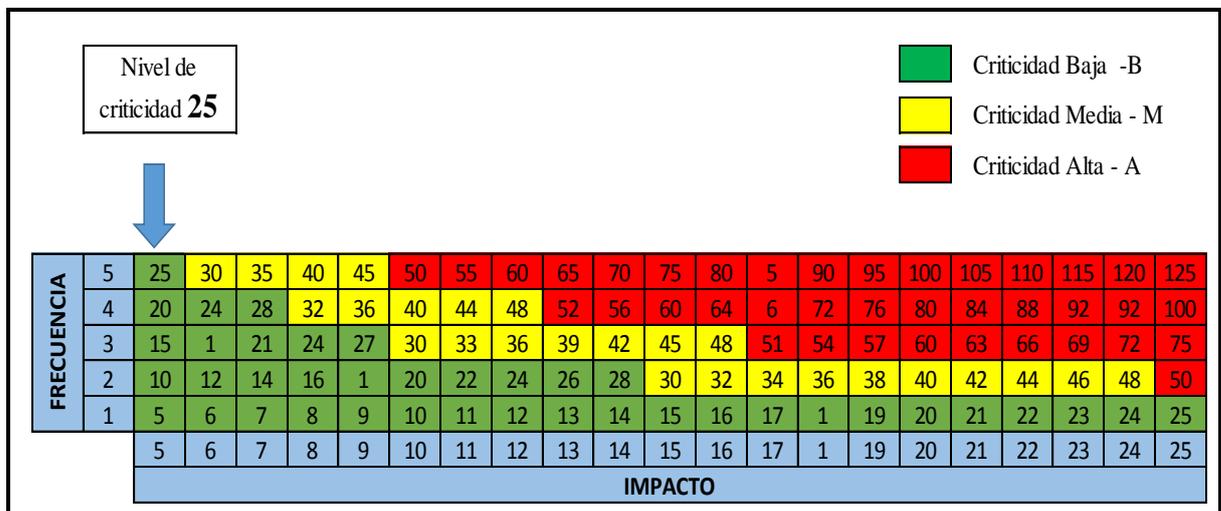
$$\text{Impacto Total} = (1 + 1 + 1 + 1 + 1) = 5$$

Cálculo de la Criticidad

$$\text{Nivel de Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto Total}$$

$$\text{Nivel de Criticidad de la Tolva dosificadora con Greasley} = (5) \cdot (5) = 25$$

Figura 1. Jerarquía de criticidad.



Elaborado por: Los autores.

Tabla 4. Resultado de análisis de criticidad de los equipos de procesamiento minero.

Equipo	ANÁLISIS DE CRITICIDAD												
	Daños al personal		Efecto en la población		Impacto Ambiental		Pérdida de Producción (\$)		Daños a la instalación (\$)		Consecuencia	Frecuencia de fallos	CRITICIDAD
	R	C	R	C	C	R	C	R	C	R	ΣImpactos		Cr = F · C
TCG-1	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TB-1	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
ZV-01	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TSG-01	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
TDM-9026	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25
MG-3306	Sin impacto en el personal	1	Sin efecto en la población	1	Mínimos daños al ambiente	1	1	Hasta 500 mil	1	Hasta 500 mil	5	5	25

Elaborado por: Los autores.

Anexo 11. Evaluación del análisis de criticidad con respecto a la producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

Para determinar a qué equipos se va a implementar el programa de mantenimiento preventivo, es necesario evaluar la criticidad de cada uno de ellos con respecto a la producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

Los criterios para realizar el análisis de criticidad en cada uno de los equipos se basa en los siguientes aspectos:

Producción

- Tasa de utilización del equipo.

Tabla 1. Valores para la tasa de marcha.

Calificación	Característica
4	> 80 %
2	Entre el 50 y 80 %
1	< 50 %

Elaborado por: Los autores.

- Equipo auxiliar: valor que indica qué posibilidades existen de recuperar la producción con otro equipo.

Tabla 2. Valores para equipo auxiliar.

Calificación	Característica
5	Sin posibilidad de reemplazo, única existencia
4	Equipos de la misma clase en el proceso productivo
1	Equipo con duplicado

Elaborado por: Los autores.

- Influencia del equipo en el proceso de producción.

Tabla 3. Valores de influencia del equipo en el proceso.

Calificación	Característica
5	Paro del proceso de producción
4	Influencia importante
2	Influencia relativa
1	No interviene en el proceso principal

Elaborado por: Los autores.

Calidad

- Influencia del equipo en la calidad final del producto.

Tabla 4. Valores para la influencia en la calidad final del producto.

Calificación	Característica
5	Decisiva
4	Importante
2	Sensible
1	Nula

Elaborado por: Los autores.

Mantenimiento

- Costo mensual del mantenimiento.

Tabla 5. Valores según costo mensual de mantenimiento.

Calificación	Característica
4	Costo de reparación \geq 5000 \$
2	500 \$ < Costo de reparación < 5000 \$
1	Costo de reparación \leq 500 \$

Elaborado por: Los autores.

- Número de horas de paradas por averías en el mes.

Tabla 6. Valores para el número de horas de paro por mes.

Calificación	Característica
4	Mayor 3 horas
2	Entre 1 a 3 horas
1	Menor a 1 hora

Elaborado por: Los autores.

- Grado de especificación del equipo.

Tabla 7. Valores según grado de especificación del equipo.

Calificación	Característica
4	Especialista
2	Normal
1	Sin especialidad

Elaborado por: Los autores.

Seguridad

- Influencia que tiene el equipo con respecto a la seguridad industrial y medio ambiente.

Tabla 8. Valores de influencia del equipo sobre la seguridad industrial.

Calificación	Característica
5	Riesgo mortal
4	Riesgo para la instalación
2	Influencia relativa
1	Sin influencia

Elaborado por: Los autores.

Con la suma de todas las puntuaciones se establecen tres grupos de criticidad:

- I. Índice de criticidad entre 25 y 35: Equipos críticos para los cuales se les implementará el programa de mantenimiento preventivo.
- II. Índice de criticidad entre 16 y 24: Equipos de importancia media, que en un determinado momento pueden llegar a ser críticos. A estos equipos se le llevará la documentación necesaria para hacerles control sobre las actividades de mantenimiento.
- III. Índice de criticidad menor a 15: Equipos secundarios en el proceso que pueden ser sometidos a un programa de mantenimiento correctivo.

En la tabla 9 se muestra la matriz de criticidad para los equipos de procesamiento minero de la cantera San Joaquín 2.

Tabla 9. Matriz de criticidad para los equipos de procesamiento minero.

Código	Equipo	Producción			Calidad	Mantenimiento			Seguridad	Valor de criticidad
		Tasa de marcha	Equipo auxiliar	Influencia sobre el proceso	Influencia en la calidad del producto	Costo mensual de mantenimiento	Horas de paro en el mes	Grado de especificación	Influencia en la seguridad o medio ambiente	
TDM-01	Trituradora 9026 con doble mandíbula	4	5	2	5	4	4	2	5	31
TCG-001	Tolva dosificadora con greasley	4	5	4	4	2	2	2	4	27
TSG-01	Tolva dosificadora sin greasley	4	5	4	4	2	2	2	4	27
ZV-01	Zaranda vibratoria	4	5	2	4	2	2	2	4	25
MG-3306	Generador 3360	4	5	5	2	1	1	2	4	24
TB-001	Transportador de banda	4	5	2	2	2	2	2	2	21

Elaborado por: Los autores.

Anexo 12: Selección del tipo de mantenimiento.

	CRITERIOS	CUMPLE	1
		NO CUMPLE	0
C1:	Elevado costo de adquisición de la máquina.		
C2:	Alto costo por concepto de pérdidas de producción.		
C3:	No existencia de duplicado de la máquina.		
C4:	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible.		
C5:	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: Niveles totales de vibración, temperatura, flujo.		
C6:	Elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos de materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.		
C7:	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnicas constructivas sufren deterioro de su estado técnico con el desarme.		
C8:	Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación.		

Tabla 1. Sistema de mantenimiento.

Valor de los coeficientes	Sistema de mantenimiento
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ $C_4 = 0$ $C_7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} \leq 0,5$ $C_5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C_4 = 0$ y/o $C_5 = 1$	
$C_{PRED} \leq 0,5$ $C_4 = 0$	Predictivo

Elaborado por: Los autores.

Tabla 2. Mantenimiento a nivel de máquina.

Tolva dosificadora con greasley														Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}		
	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0,6	3	0	Preventivo con medición de parámetros y síntomas	

Elaborado por: Los autores.

Tabla 3. Mantenimiento a nivel de elementos.

Tolva dosificadora con greasley														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Sist. Eléctrico y accionamiento	Motor	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	0	1	1	1	0	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
Sist. Mecánico de transmisión de fuerza	Correa	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Polea	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Caja de piñones reductores de revoluciones	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Cardán con crucetas	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
Sistema Vibratorio	Pesas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Resortes	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Plancha de 1/2 "	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sistema de soporte	Estructura metálica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Greasley	Pernos de seguridad	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo

Elaborado por: Los autores.

Tabla 4. Mantenimiento a nivel de máquina.

Tolva dosificadora sin greasley													Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0,6	3	0	Preventivo con medición de parámetros y síntomas

Elaborado por: Los autores.

Tabla 5. Mantenimiento a nivel de elementos.

Tolva dosificadora sin greasley														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Sist. Eléctrico y accionamiento	Motor	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	0	1	1	1	0	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
Sist. Mecánico de transmisión de fuerza	Correa	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Polea	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Caja de piñones reductores de revoluciones	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Cardán con crucetas	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
Sistema Vibratorio	Pesas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Resortes	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Plancha de 1/2 "	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sistema de soporte	Estructura metálica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo

Elaborado por: Los autores.

Tabla 6. Mantenimiento a nivel de máquina.

Transportador de banda														Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}		
	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0,6	3	0		Preventivo con medición de parámetros y síntomas

Elaborado por: Los autores.

Tabla 7. Mantenimiento a nivel elementos.

Transportador de banda														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Sist. Eléctrico y accionamiento	Motor	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Correa	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Reductor	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Tambor motriz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Banda	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sist. de soporte	Eje (chumaceras)	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
	Estructura metálica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Rodillos	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
	Tambor cola de pato	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad

Elaborado por: Los autores.

Tabla 8. Mantenimiento a nivel de máquina.

Zaranda vibratoria														Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}		
	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas	

Elaborado por: Los autores.

Tabla 9. Mantenimiento a nivel elementos.

Zaranda vibratoria														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Sist. Eléctrico y accionamiento	Motor	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
Sist. De tamizado	Correa	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Mallas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Cono embudo	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sistema Vibratorio	Resortes	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Pesas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sistema de soporte	Estructura metálica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo

Elaborado por: Los autores.

Tabla 10. Mantenimiento a nivel de máquina.

Trituradora 9026														Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}		
	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas	

Elaborado por: Los autores.

Tabla 11. Mantenimiento a nivel elementos.

Trituradora 9026														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Sist. Eléctrico y accionamiento	Motor	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Predictivo
Sist. De trituración	Eje	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Fusible	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
	Mandíbula Fija	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Mandíbula Movil	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Cuñas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo
Sistema de soporte	Estructura metálica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Correctivo

Elaborado por: Los autores.

Tabla 12. Mantenimiento a nivel de máquina.

Generador														Tipo de mantenimiento a aplicar
Mantenimiento a nivel de máquina	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}		
	1	1	0	0	1	1	1	1	0,75	1	3	2	Preventivo con medición de parámetros y síntomas	

Elaborado por: Los autores.

Tabla 13. Mantenimiento a nivel de elementos.

Generador														Tipo de mantenimiento a aplicar
Sistema	Elementos	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{PRED}	$C_{CORR/PREV}$	$C_{PÉRDIDAS}$	C_{FALLAS}	
Motor	Sist. De control y aceleración	0	1	1	1	1	0	1	0	0,5	0,4	1	1	Predictivo
	Sist. De lubricación	0	1	0	1	1	0	1	0	0,25	0,4	1	1	Preventivo según índices de fiabilidad
	Sist. De combustible	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Preventivo según índices de fiabilidad
	Sist. De enfriamiento	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Preventivo según índices de fiabilidad
Generador	Generador	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
	Sist. De control eléctrico	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Predictivo

Elaborado por: Los autores.

Anexo 13. Hojas de inspección.

Tabla 1. Tolvas dosificadoras.

Hojas de inspección para tolvas dosificadoras						
Inspección	Frecuencia de inspección	Actividad	Prioridad	Material y/o repuesto	Asignado a.	Hrs. Programadas
Verificar el estado del aceite	Diaria	Observe el visor de aceite y complete el nivel si es necesario.	Normal	Aceite de engranaje 90	1 Lubricador 1 Ayudante	0:15:00
		Cambie el aceite cada 350 hrs de trabajo efectivas.	Moderada			0:30:00
		Verificar la temperatura del Aceite que no sobrepase los 80 °C	Alta	Pirómetro	1 Lubricador	0:20:00
Greasley	Mensual	Realizar el revestimiento del greasley de entrada y salida cada 200.000 ton Procesadas.	Normal	Equipo de soldadura, equipo de oxicorte	1 Soldador 2 Ayudantes	1:00:00
Placa de impacto	15 Días	Cambiar las Placas de impacto cada 250.000 ton procesadas.	Moderada	Equipo de soldadura, equipo de oxicorte, planchas de acero.	1 Soldador 1 Mecánico 2 Ayudantes 1 supervisor	1:30:00
Motor	Semanal	Verificar si las correas presentan alguna fisura para realizar el cambio.	Moderada	Tolva #1 correas 3, tolva #2 correas 1	2 Ayudantes	0:15:00
	15 Días	Verificar la alineación de la polea del motor con la polea de la tolva y que el ángulo no sobre pase los 0,5° grados de diferencia.	Moderada	Varilla y transportador	1 Mecánico	0:15:00

	Anual	Realizar servicio de mantenimiento general.	Alta	Servicio externo	-----	-----
	15 Días	Verificar que el ángulo de las correas de polea a polea este en 45° grados de inclinación.	Moderada	Varilla y transportador	1 Mecánico	0:10:00
	15 Días	Verificar que la polea no presente fisuras y que la correa este a nivel de los canales en “v”, si no es así es por síntoma de desgaste de la polea.	Moderada	Inspección visual	1 Mecánico	0:15:00
Chute de Descarga	Mensual	Realizar el revestimiento del chute cada 100.000 ton procesadas.	Moderada	Equipo de oxicorte, equipo de soldadura	1 Soldador 2 Ayudantes 1 Supervisor	1:00:00
Tensores	Mensual	Verificar que los tensores del motor se encuentren ajustados.	Moderada	Llaves, palanquilla	1 Mecánico 2 Ayudantes 1 Supervisor	0:20:00
		Verificar que los tensores de la tolva se encuentren ajustados.	Moderada	Llaves, palanquilla		0:20:00

Elaborado por: Los autores.

Tabla 2. Zaranda vibratoria.

Hojas de inspección para zarandas vibratorias						
Inspección	Frecuencia de inspección	Actividad	Prioridad	Material y/o repuesto	Asignado a.	Hrs. Programadas
Verificar el ajuste de la tornillería tanto de la estructura como del equipo	Diaria	Verificar si existen holguras a lo largo del tornillo con el área de apriete.	Normal	Llave de tuerca	1 Mecánico 2 Operadores	0:20:00
		Verificar si el roscado del tornillo esta obstruido, si presenta fisura o un desgaste.	Normal	.....	2 Operadores	0:10:00
Verificar el estado de aceite	Semanal	Chequear que la temperatura se mantenga entre 45°C y 65 °C	Moderado	Pistola piro métrica	1 Mecánico	0:10:00
		Cambio de aceite al tanque cada 360 hrs de trabajo efectivas.	.....	Aceite de engranaje 90	1 Ayudante	1:00:00
Motor	Semanal	Cambio de correas si presenta fisura o desgaste.	Alta	Correa cant. 1	2 Ayudantes	0:30:00
		Verificar que el ángulo de las correas de polea a polea sea de 45° grados.		Transportador	1 Mecánico 1 Ayudante	0:10:00
		Verificar la alineación que el ángulo horizontal no sobrepase el 0,5 ° de diferencia entre poleas.		Varilla, transportador para medir el ángulo.	1 Mecánico 2 Ayudante 1 Supervisor	1:00:00
		Contratar servicio de mantenimiento luego de un año de operatividad.	Alta	.....	Servicio externo	.....

Desgaste de las mallas	Mensual	Medir el espesor de las mallas y verificar que se encuentren en el rango mínimo.	Moderada	Malla 4,55 m · 1,52 m	2 Ayudantes 1 Supervisor 1 Soldador	0:15:00
		Cambiar las mallas de desgaste cuando el espesor sea menor.	Alta	Vernier o metro, equipo de oxicorte y soldadura, moderada, mallas de acero.		2:00:00
Desgaste de las planchas laterales de la mesa del vibro	Mensual	Cambiar las planchas de desgaste cada 150.000 ton procesadas.	Moderada	Vernier o metro, equipo de oxicorte y soldadura, moderada, mallas de acero.	2 Ayudantes 1 Supervisor 1 Soldador	2:00:00

Elaborado por: Los autores.

Tabla3. Banda transportadora.

Hojas de inspección para transportadores de banda						
Inspección	Frecuencia de inspección	Actividad	Prioridad	Material y/o repuesto	Asignado a.	Hrs. Programadas
Chumaceras	Diaria	Lubricar todas las chumaceras de la banda cada 12 horas de trabajo efectivas.	Normal	Grasera, grasa de chasis y mistik	1 Lubricador 1 Ayudante	0:20:00
		Revisar que la grasa no se desborde a través de la pista y el pitillo de grasa este obstruido.	Moderada	Observación visual	1 Lubricador	0:10:00
	Semanal	Inspeccionar que la pista de la chumacera no este fracturada, esto se detecta si la chumacera esta desnivelada.	Alta	Inspección visual	1 Lubricador	

Reductor	Semanal	Completar Aceite si el reductor presenta fugas sin sobre pasar la rosca de nivel.	Alta	Aceite de engranaje 90	1 Lubricador 1 Ayudante	0:10:00
		Revisar la estopera para que no existan fugas de aceite, si es así deberá disminuir las cantidades de aceite suministrado al reductor.		Inspección visual		0:10:00
	Semanal	Verificar la alineación de las poleas que el ángulo horizontal no sobrepase los 0,5° de diferencia.	Normal	Varilla, transportador	1 Mecánico 3 Ayudantes 1 Supervisor	0:20:00
	Anual	Destapar el reductor y revisar que los engranajes y rodamientos no presenten desgaste, suciedad en el aceite, como virutas, tierra u otros elementos que deterioren el equipo.	Alta	Llaves, inspección visual	1 Mecánico 2 Ayudantes 1 Supervisor	0:30:00
Verificar el estado de los rodillos	Semanal	Si la banda se encuentra corrida hacia algún extremo del rodillo, afloje el tensor de cola del lado que desee que se alineé la banda, si no es suficiente utilice la estación de alineación.	Normal	Llaves, palancas	1 Mecánico 2 Ayudante	0:30:00

Verificar el vulcanizado de los rodillos de cola y motriz	Diaria	Verifique si los rodillos se encuentran girando de forma continua y a la misma velocidad que la banda.	Moderada	Inspección visual	1 Ayudante	0:20:00
	15 Días	Realizar nuevo vulcanizado si la goma se encuentra de un grosor ya fino, alrededor de 3 mm.	Moderada	Servicio externo	.....	4:00:00
Estado de la banda	Diaria	Verificar que la banda no presente rajaduras porque esto es un indicador de desgaste.		Inspección visual	1 Mecánico	0:20:00
Tensores	Semanal	Verificar que los tensores estén apretados de forma uniforme para no desalinearse la banda.		Llaves		0:10:00
Motor	Anual	Realizarle servicio de mantenimiento general.	Alta	.....	Servicio Externo	.....
	15 Días	Verificar que el ángulo de las correas de polea a polea este en 45° grados de inclinación.	Moderada	Transportador	1 Mecánico	0:10:00
Aceite del reductor	Mensual	Cambiar el aceite cada 360 horas de trabajo efectivas		Aceite de engranaje 90	1 Lubricador 1 Ayudante	0:30:00

Elaborado por: Los autores.

Anexo 14. Acta de averías para el área de mantenimiento de la Cantera San Joaquín 2.

			ACTA DE AVERÍA		
N°	Empresa:		Fecha:		
	Establecimiento:				
1- Fecha y Hora en la que ocurrió la avería.					
2- Nombre del equipo y datos técnicos.					
3- Nombre del operario.					
4- Nombre del supervisor de mantenimiento.					
5- Descripción de la avería.					

6- Causas:

7- Defectos encontrados:

8- Trabajos realizados – Recomendaciones:

9- Medidas técnico – administrativas:

10- Duración de la reparación – (Horas)

11- Personal que ha trabajado:

12- Materiales y piezas utilizadas.

13- Afectación a la producción (%)

14- Observaciones y/o recomendaciones generales

15- Firmas:

Técnico de mantenimiento:

Supervisor:

Anexo 15: Planes de mantenimiento para los equipos que requieren mantenimiento preventivo planificado.

Tabla 1. Planes de mantenimiento para los equipos que requieren mantenimiento preventivo planificado.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS QUE REQUIEREN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO				
Equipos	Elementos con mantenimiento preventivo planificado	Estructura del ciclo de reparación	Tiempo entre reparaciones del ciclo (h)	Actividades
Tolvas dosificadoras	Caja de piñones reductores de revoluciones	G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G	10631,25	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de aceite de reductor (RPMG). • Ajuste de pernos de sujeción (RPMG). • Cambio de rodamientos con horas límites (MG). • Cambio de sellos de aceite (PM).
	Cardán con crucetas			<ul style="list-style-type: none"> • Engrase de rodamientos de cruceta (RPMG). • Cambio de cellos (PM). • Ajuste de fijación de cardan (RPMG).
Transportadores de banda	Reductor	G-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-R-G	8505	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de aceite de reductor (RPMG). • Ajuste de pernos de sujeción (RPMG). • Cambio de rodamientos con horas límites (G). • Cambio de sellos de aceite (PM).
	Eje (chumaceras p209)			<ul style="list-style-type: none"> • Rectificación de puntos de contacto del eje (G). • Ajuste de fijación (RPMG). • Lubricación (RPMG). • Cambio de rodamientos (G).

	Rodillos	G-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-R-G	8505	<ul style="list-style-type: none"> • Lubricación de rodamientos (RPMG). • Cambio de rodamientos (G). • Cambio de ejes desgastados y camisas (MG).
	Tambor cola de pato			<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de rodamientos de chumaceras (G). • Ajuste y alineación (RPMG). • Cambio de ejes desgastados (MG).
Zaranda vibratoria	Sistema Eléctrico (Relé, contactores, cables)	G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G	10631,25	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de contactos (RPMG). • Reemplazo de cables averiados (MG).
Trituradora 9026	Mandíbula Fija	G-R-P-R-M-R-P-R-M-R-G	8505	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de muelas (PMG) • Regulación de apertura (RPMG). • Lubricación de partes móviles (RPMG).
	Mandíbula Móvil			

Motogenerador	Sistema de lubricación	G-R-R-R-R-R-P- R-R-R-R-R-M-R- R-R-R-R-P-R-R- R-R-R-G	10800	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de presión (RPMG). • Cambio de sellos y filtros (MG). • Cambio de aceite (MG).
	Sistema de combustible			<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de filtros de combustible (MG). • Limpieza de tuberías (PMG).
	Sistema de enfriamiento			<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de sellos de estanqueidad (G). • Lubricación de rodamientos (RPMG). • Cambio de rodamientos (G).
	Motogenerador			<ul style="list-style-type: none"> • Lubricación de rodamientos (RPMG). • Cambio de rodamientos (G). • Limpieza de escobillas (PMG). Cambio de escobillas (G).

Elaborado por: Los autores.

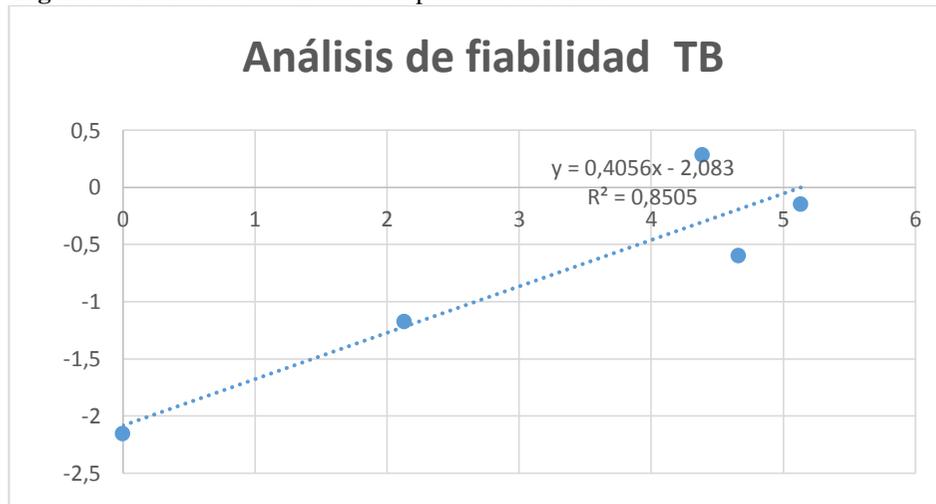
Anexo 16. Análisis de fiabilidad.

Tabla 1. Transportador de banda.

Elementos	Número de fallas	Tiempo de operación (horas)	% de fallas	TMEF	X	Y	Parámetros	
Rodillos	2	6480	0,0308642	32,4	2,67789482	-1,974458694	Localización	17,84
Reductor	2	10440	0,01915709	52,2	3,53673073	-0,972686141	Forma (BETA)	0,812
correas	1	13176	0,00758956	131,76	4,73544748	-0,366512921	Intersección (b)	-4,044
motor	1	17712	0,00564589	177,12	5,07062864	0,144767396	Escala (ETA)	145,62
banda	1	23832	0,00419604	238,32	5,39578169	0,714455486	R²	0,96

Elaborado por: Los autores.

Figura 1. Análisis de fiabilidad transportador de banda.



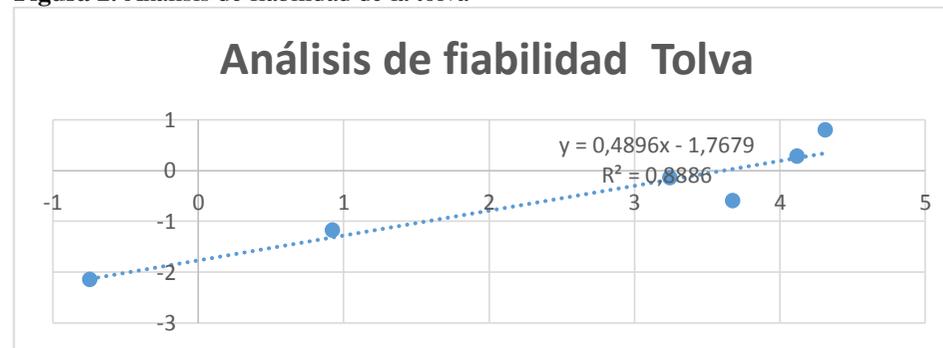
Elaborado por: Los autores.

Tabla 2. Tolva.

Elementos	Número de fallas	Tiempo de operación (horas)	% de fallas	TMEF	X	Y	Parámetros	
Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	2	1032	0,1937984 5	5,16	- 0,745406565	-2,155616006	Localización	4,6854586 7
Pernos de seguridad (Cabezas)	2	1440	0,1388888 9	7,2	0,922090413	-1,175270415	Forma (BETA)	0,4895822 3
Caja de piñones reductores de revoluciones	1	4416	0,0226449 3	44,16	3,675655941	-0,601543551	Intersección (b)	- 1,7679400 7
Motor	2	6072	0,0329380 8	30,36	3,245499891	-0,147287035	Escala (ETA)	37,007470 7
Correa	1	6624	0,0150966 2	66,24	4,119923633	0,281917795	R²	0,888579
Cardán con crucetas	1	7944	0,0125881 2	79,44	4,314209964	0,794336831		

Elaborado por: Los autores.

Figura 2. Análisis de fiabilidad de la tolva



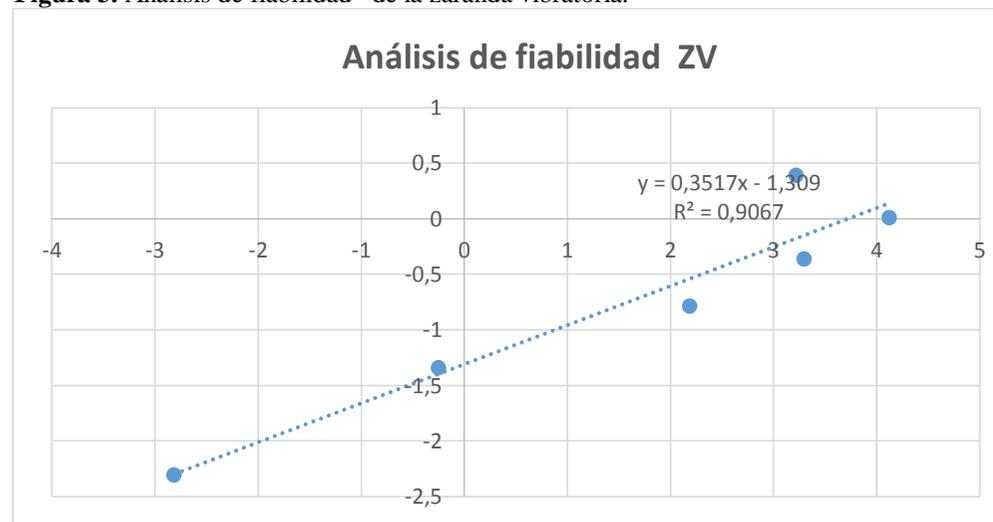
Elaborado por: Los autores.

Tabla 3. Zaranda vibratoria.

Elementos	Número de fallas	Tiempo de operación (horas)	% de fallas	TMEF	X	Y	Parámetros	
Mallas	1	1008	0,09920635	10,08	2,310553263	-2,155616006	Localización	0
Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	2	1032	0,19379845	5,16	1,640936579	-1,175270415	Forma (BETA)	0,75024427
Motor	2	6336	0,03156566	31,68	3,455685567	-0,601543551	Intersección (b)	-3,08946922
Correa	1	7008	0,01426941	70,08	4,249637447	-0,147287035	Escala (ETA)	61,4332442
Cono embudo	1	8808	0,01135332	88,08	4,478245492	0,281917795	R ²	0,75343415
Resortes	1	9648	0,01036484	96,48	4,569335733	0,794336831		

Elaborado por: Los autores.

Figura 3. Análisis de fiabilidad de la zaranda vibratoria.



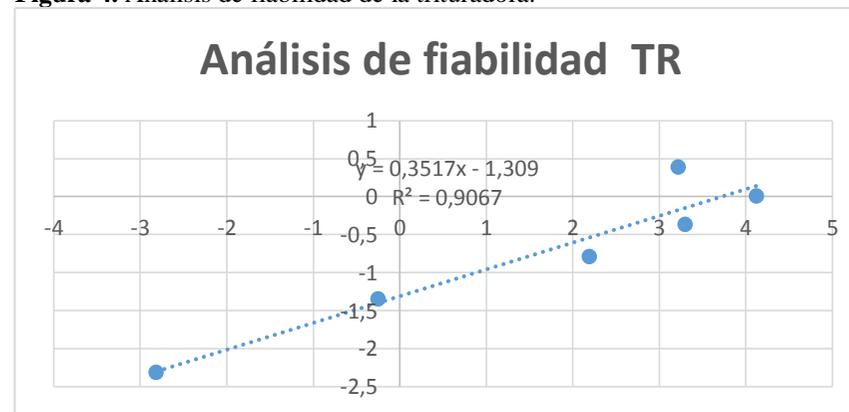
Elaborado por: Los autores.

Tabla 4. Trituradora.

Elementos	Número de fallas	Tiempo de operación (horas)	% de fallas	TMEF	X	Y	Parámetros	
Sist. Eléctrico (Relé, contactores, cables)	2	1152	0,17361111	5,76	- 2,813410717	-2,308880127	Localización	5,7
Mandíbula Movil	2	1296	0,15432099	6,48	- 0,248461359	-1,343181902	Forma (BETA)	0,38987101
Mandíbula Fija	1	1464	0,06830601	14,64	2,190535589	-0,789839834	Intersección (b)	-1,2354301
Motor	2	6576	0,03041363	32,88	3,302481409	-0,366512921	Escala (ETA)	23,7793508
Correa	1	6768	0,01477541	67,68	4,126811752	0,00819456	R²	0,9067328
Eje	3	9240	0,03246753	30,8	3,222867846	0,385841654		
Estructura metálica	3	9672	0,03101737	32,24	3,286160572	0,85787951		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Análisis de fiabilidad de la trituradora.



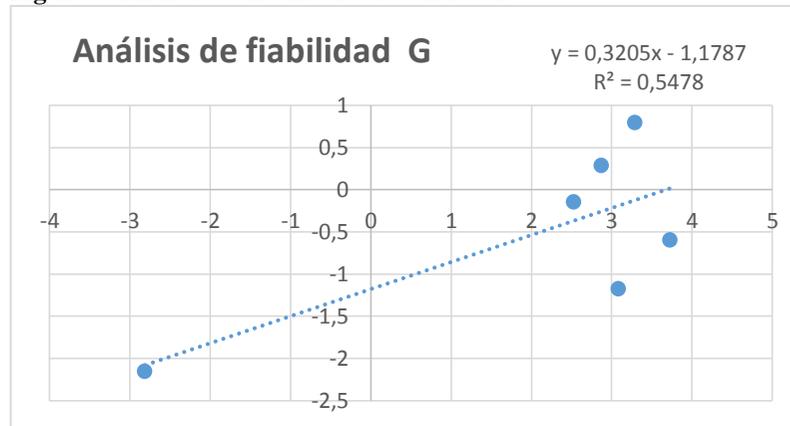
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Generador.

Elementos	Número de fallas	Tiempo de operación (horas)	% de fallas	TMEF	Parámetros	
Sist. De control eléctrico	2	4272	0,04681648	21,36	Localización	21,3
Sist. De control y aceleración	1	4320	0,02314815	43,2	Forma (BETA)	0,32047471
Sist. De lubricación	1	6288	0,01590331	62,88	Intersección (b)	-1,17874404
Generador	2	6768	0,02955083	33,84	Escala (ETA)	39,5718796
Sist. De combustible	2	7800	0,02564103	39	R²	0,5478324
Sist. De enfriamiento	2	9648	0,02072968	48,24		

Elaborado por: Los autores.

Figura 5. Análisis de fiabilidad del Generador.



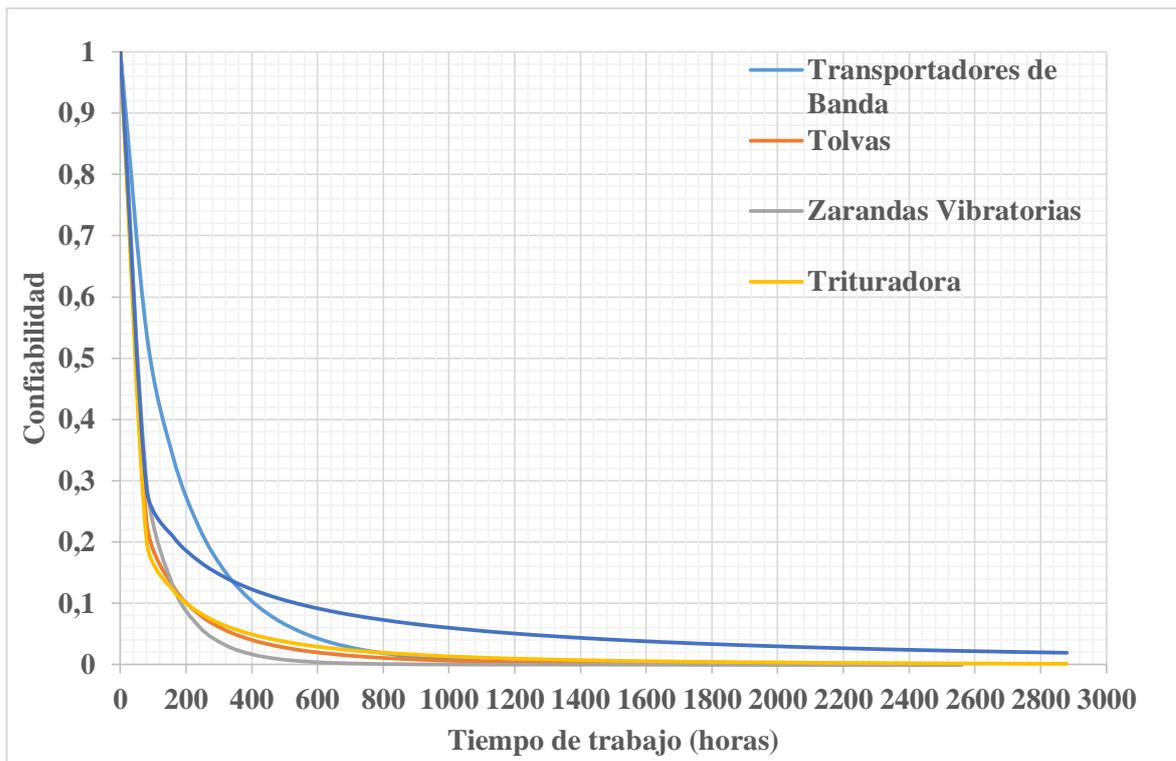
Elaborado por: Los autores.

Tabla 6. Resumen de confiabilidad de todos los equipos de procesamiento minero.

Tiempo meses	Tiempo Horas	Confiabilidad transportadores de banda	Confiabilidad tolvas	Confiabilidad zarandas vibratorias	Confiabilidad trituradora	Confiabilidad moto generador
0,00	0	1	1	1	1	1
0,33	80	0,5403	0,2324	0,2954	0,2009	0,2857
0,67	160	0,3398	0,1288	0,1286	0,1221	0,2094
1,00	240	0,2234	0,0821	0,062	0,0851	0,1686
1,33	320	0,1507	0,0562	0,0318	0,0635	0,142
1,67	400	0,1036	0,0403	0,0169	0,0495	0,1229
2,00	480	0,0722	0,0299	0,0093	0,0396	0,1083
2,33	560	0,0509	0,0227	0,0053	0,0324	0,0968
2,67	640	0,0362	0,0176	0,003	0,027	0,0874
3,00	720	0,026	0,0138	0,0018	0,0228	0,0796
3,33	800	0,0188	0,011	0,0011	0,0195	0,073
3,67	880	0,0137	0,0089	0,0006	0,0168	0,0673
4,00	960	0,01	0,0072	0,0004	0,0145	0,0624
4,33	1.040	0,0073	0,0059	0,0002	0,0127	0,0581
4,67	1.120	0,0054	0,0049	0,0001	0,0112	0,0542
5,00	1.200	0,004	0,0041	0,0001	0,0099	0,0508
5,33	1.280	0,003	0,0034	0,0001	0,0088	0,0477
5,67	1.360	0,0022	0,0029	0	0,0079	0,045
6,00	1.440	0,0017	0,0024	0	0,007	0,0425
6,33	1.520	0,0012	0,0021	0	0,0063	0,0402
6,67	1.600	0,0009	0,0018	0	0,0057	0,0381
7,00	1.680	0,0007	0,0015	0	0,0052	0,0362
7,33	1.760	0,0005	0,0013	0	0,0047	0,0344
7,67	1.840	0,0004	0,0011	0	0,0043	0,0328
8,00	1.920	0,0003	0,001	0	0,0039	0,0313
8,33	2.000	0,0002	0,0009	0	0,0036	0,0299
8,67	2.080	0,0002	0,0007	0	0,0033	0,0286
9,00	2.160	0,0001	0,0007	0	0,003	0,0274
9,33	2.240	0,0001	0,0006	0	0,0028	0,0263
9,67	2.320	0,0001	0,0005	0	0,0026	0,0252
10,00	2.400	0,0001	0,0004	0	0,0024	0,0242
10,33	2.480	0	0,0004	0	0,0022	0,0233
10,67	2.560	0	0,0003	0	0,002	0,0224
11,00	2.640	0	0,0002	0	0,0019	0,0216
11,33	2.720	0	0,0002	0	0,0017	0,0208
11,67	2.800	0	0,0001	0	0,0016	0,0201
12,00	2.880	0	0	0	0,0015	0,0194

Elaborado por: Los autores.

Figura 6. Confiabilidad de todos los equipos de procesamiento minero.



Elaborado por: Los autores.

Anexo 17. Historial de fallas de los equipos de procesamiento minero.

Los datos de fallas se han registrado mediante una medición de tiempos de las actividades de mantenimiento y por datos de los técnicos de mantenimiento.

Tabla1. Tiempo de operación planeado

Tiempo de operación planeado (h)	Lunes a viernes (5 días)	Sábado (1/2 día)	Semanales (h)	Mensual (h)	Meses de evaluación
	40	4	44	176	6

Elaborado por: Los autores.

Tabla 2. Historial de fallas de los equipos.

Transp. de banda		Tolva		Zaranda Vibratoria		Trituradora		Generador	
Duración de fallas (h)		Duración de fallas (h)		Duración de fallas (h)		Duración de fallas (h)		Duración de fallas (h)	
F1	16	F1	3	F1	3	F1	16	F1	2
F2	0,5	F2	2,5	F2	4	F2	5	F2	2
F3	3	F3	44	F3	3	F3	3,5	Total de fallas (h)	4
F4	0,25	Total de fallas (h)	49,5	F4	2	F4	52		
F5	4			Total de fallas (h)	12	F5	16	Total de fallas (h)	97,5
F7	0,25								
Total de fallas (h)	24,25								

Elaborado por: Los autores.

Nomenclatura:

- **TMEF:** Tiempo medio entre fallas (horas).

$$TMEF = \frac{TROP}{NTMC}$$

- **TROP:** Tiempo real de operación (horas).
- **NTMC:** Cantidad total de fallas en el mes (unidades).
- **HTMC:** Tiempo para la eliminación de la falla (horas).
- **TMPR:** Tiempo medio para la reparación (horas).

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC}$$

Anexo 18. Costos de mantenimiento.

Los datos de estos se adquirieron del estado de resultados de la cantera en el primer semestre del 2016 (enero - junio); obteniéndose los siguientes valores:

Tabla1. Costo de mantenimiento.

FEP (\$)	CTMP (\$)	COMF (adimensional)	CM (\$)	SD (\$)	OG (\$)	COEF (\$)
\$ 160.548,76	\$ 6.065,80	26,47	\$ 726,29	\$ 1.248,00	\$ 13.296,97	\$ 15.271,26

Elaborado por: Los autores.

Nomenclatura:

- **FEP:** Facturación de la empresa en el período.
- **CTMP:** Costo total de mantenimiento.
- **COMF:** Costos de mantenimiento por facturación.

$$COMF = \frac{FEP}{CTMP}$$

- **CM:** Consumo de materiales.
- **SD:** Sueldos devengados.

Tabla 2. Sueldos devengados.

Personal	Cantidad (u)	Sueldo (\$)	Total (\$)
Mecánico	1	500	\$ 500,00
Auxiliar mecánico	1	374	\$ 374,00
Auxiliar	1	374	\$ 374,00
Total sueldos devengados			\$ 1.248,00

Elaborado por: Los autores.

- **OG:** Otros gastos.

Tabla 3. Otros gastos.

Otros gastos	Consumo (Gl. · hora)	Precio galón de diésel (\$)	Horas de trabajo (h)	Consumo diario (\$)	Consumo mes (\$)
Combustible	6	\$ 1,00	8	\$ 48,00	\$ 8.448,00
Aceites y lubricantes	4848,97				\$ 4.848,97
Total otros gastos					\$ 13.296,97

Fuente: Elaboración propia.

- **COEF:** Costos de mantenimiento para eliminación de fallas.

$$COEF = CM + SD + OG$$