



## **DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

# **MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO VERSIÓN IV**

### **Propuesta de un modelo de confiabilidad para el Molino Vertical PFEIFFER MPS 2500 BC de la Cementera Atenas del Grupo Industrial Graiman**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Magíster en Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. Iván Pérez Rivera

Directora: Ing. Luis Felipe Sexto MsC.

Cuenca – Ecuador 2021

# Propuesta de un modelo de confiabilidad para el Molino Vertical PFEIFFER MPS 2500 BC de la Cementera Atenas del Grupo Industrial Graiman

Pérez Rivera Iván<sup>1</sup>, Sexto Luis Felipe<sup>2</sup>

## RESUMEN

La industria cementera está en constante desarrollo y crecimiento, por ello se ha considerado trabajar sobre la planta cementera Atenas de la ciudad de Cuenca, apuntando al mejoramiento del sistema de gestión de mantenimiento con técnicas fiables, como lo es el modelamiento de confiabilidad, y así dar seguridad al correcto funcionamiento operativo de la planta en general. La metodología de confiabilidad utilizada en el desarrollo del siguiente estudio es una de las técnicas que apoya procesos aliados al mantenimiento, obteniendo resultados favorables que conducen al éxito rentable y competitivo de la empresa.

El molino vertical, considerado el más crítico de los activos en cualquier planta cementera por su presencia física, operatividad, producción e inversión hacen que sea el corazón de la empresa y que se lleve todas las atenciones del caso. Por ello se lo ha escogido como objeto de análisis para modelar la confiabilidad operativa por tres años a partir de su inicio de operación. Del cual se pudo corroborar que su baja confiabilidad no perjudicó a su disponibilidad productiva en las condiciones operativas del tiempo en estudio, sin embargo, los resultados han dado hincapié para mejorar el sistema de gestión.

**Palabras clave—** Industria del cemento, gestión de mantenimiento, confiabilidad, molino vertical.

## I. INTRODUCCIÓN

La empresa cementera nace a raíz de una estrategia constructiva del mercado, y en la actualidad ha sido expandida en todo el mundo. Se la considera uno de los negocios más poderosos, estando al nivel de las empresas de comunicaciones y energías [1]. Todo proceso productivo de cemento utiliza un sistema de molienda, pudiendo ser éste, horizontal o vertical dependiendo de la capacidad e inversión de la institución. Las empresas de este producto en su actualidad han migrado a moliendas con molinos verticales a pesar de su alto costo inicial, apostando así a la competitividad de esta.

## ABSTRACT

Cement industries are constantly growing and developing. Thus, it is necessary to improve their internal processes to improve the maintenance management systems by using reliable techniques in order to provide security to the proper operational functionality of the plant. The reliability methodology used in the development of the current study is one of the techniques that supports processes associated with maintenance. Therefore, favorable results were obtained to enhance the profitable and competitive success of the company.

The vertical mill proved to be the most critical asset in the cement plant due to its physical presence, operation, production and investment. These factors turn the mill into the company's heart and captures all the attention. Consequently, the mill has been chosen as object of analysis to model operational reliability for three years after its beginning. It was proved that low reliability did not jeopardize the readiness of the production in the operative conditions of the study. However, results have led to improve the management systems.

**Keywords—** Cement industry, maintenance management, reliability, vertical mill.

Translated by

Ivan Pérez

Cemento Atenas, cuenta hace cuatro años con un molino vertical de tres rodillos de procedencia alemana siendo éste el corazón de la planta. Todos los enfoques son especialmente para este equipo, desde las altas jerarquías hasta las más bajas. De manera especial, el área de mantenimiento tiene un control más riguroso para mantenerlo siempre disponible en su operación.

El constante desarrollo evolutivo del mantenimiento en el tiempo ha dado paso a

técnicas y estrategias que permiten tener un mayor control de los activos físicos. Desde la parte académica y en conjunto con expertos en mantenimiento se ha demostrado un creciente avance enfocado a la productividad organizacional, como las que actualmente aparecieron: mantenimiento basado en condición mediante herramientas que permiten comparar los parámetros de un equipo sin necesidad de pararlo, y últimamente metodologías de confiabilidad operacional, siendo su fin el estudio de posibles averías que puedan originar fallos en los equipos a medida que el tiempo transcurre, desembocando en potenciales efectos financieros en la organización. [3]

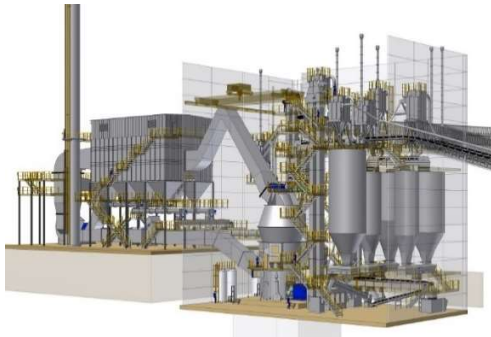


Figura 1. Estructura operativa de una planta cementera

De acuerdo con Knezevic (1996), la única característica común entre todos los sistemas creados por el hombre es su capacidad para satisfacer una necesidad, desempeñando una función específica. Consecuentemente, la funcionalidad es la característica más importante de cualquier sistema y está relacionada con su capacidad inherente para desempeñar una función específica. Por lo tanto, para que un sistema recupere la capacidad de realizar una función es necesario realizar unas tareas especificadas, conocidas como tareas de mantenimiento. [4]

En el viejo continente en el año 2015 nace la norma EN 16646, que refiere al mantenimiento como la gestión de activos físicos y lo define como “las actividades coordinadas de una organización para crear valor a partir de los activos físicos, es la gestión óptima del ciclo de vida de los activos físicos para alcanzar de forma sostenible los objetivos de negocio establecidos”. La gestión de los activos físicos no se focaliza sobre el propio activo, sino sobre el valor que el activo puede proporcionar a la organización. El valor es específico de la organización y depende del contexto organizativo. En el contexto general, el activo es un elemento que posee un valor potencial o un valor actual en una organización. [5]

La moderna gestión del mantenimiento incluye todas aquellas actividades destinadas a determinar objetivos y prioridades de mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades. Todo ello facilita la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento, buscando siempre una mejora continua y teniendo en cuenta aspectos económicos relevantes para la organización. Una adecuada gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de:

- Reducir los costos globales de la actividad productiva,
- Asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones,
- Disminuir al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente, generando, además, procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados.

Por todo ello, la gestión del mantenimiento se transforma en un poderoso factor de competitividad cuya importancia en el ámbito empresarial crece día a día. Es por esta razón que existe la necesidad de conceptualizar y de entender los procesos mínimos necesarios para desarrollar una correcta gestión de mantenimiento en una organización. Además, se explica en detalle el objetivo y agregación de valor de cada una de las etapas propuestas, especificando el uso de herramientas de gestión que soportan y aterrizan en términos operativos la conceptualización y función de cada etapa. [7]

Mora (2009), en su libro comenta sobre los objetivos de la confiabilidad de los activos como: eliminar averías en las máquinas, suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos, minimizar los costos de mano de obra de reparaciones, en base a un compromiso por parte de los responsables del mantenimiento en la eliminación de fallas de máquinas, minimizar costos, planificar el mantenimiento, trabajo en conjunto entre producción y mantenimiento, mejora de horarios del personal, entre otras. [8]

Varias tesis hablan sobre modelos de confiabilidad de un sistema combinado y además asocian algunos conceptos que permiten una mejor comprensión del estudio actual, el glosario contiene definiciones como: criticidad, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, falla, tasa de falla, y otras más que pone en

contexto del trabajo y son útiles para la comprensión de este. [9]

Se presentan a continuación algunos conceptos importantes:

**Confiabilidad o fiabilidad:** probabilidad de que un sistema realice su función para lo que fue diseñado durante un periodo de tiempo en un contexto operacional determinado.

**Disponibilidad:** probabilidad de que un sistema funcione satisfactoriamente en un momento que sea requerido.

**Mantenibilidad:** capacidad de restaurar las funciones de un sistema en un tiempo determinado, siguiendo las políticas y procedimientos de la empresa. [10]

#### **Objetivo general:**

Proponer un modelo de confiabilidad operacional del Molino Vertical Pfeiffer MPS 2500 BC, que interviene en el proceso productivo de la línea cementera de Atenas en la ciudad de Cuenca.

#### **Objetivos específicos:**

1. Identificar los componentes que tiene por diseño el molino vertical.
2. Analizar el historial de fallos que posee la empresa para cada componente que integra el equipo en estudio.
3. Presentar un catálogo de fallas del equipo.
4. Proponer el modelo de confiabilidad individual y general del equipo.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el cálculo de la confiabilidad, consideramos al molino vertical como un sistema complejo, esto quiere decir que puede ser descompuesto en varias partes. Por ello en primer lugar se calcula la confiabilidad de cada uno de los componentes mediante el análisis de la tasa de fallo y la aplicación de las distribuciones que dependen de algunas variables; además, los sistemas complejos pueden ser calculado modelando el sistema como una analogía de circuitos serie-paralelo. Por ello, se debe asignar un tiempo determinado para valorar los niveles probabilísticos aceptables para el activo, el valor de confiabilidad nos va a permitir decidir si es necesario tener un activo igual como back-up o mejorar los planes de mantenimiento. [11]

Para el análisis se tomará el activo principal (molino vertical) de la cementera Atenas del

Grupo Industrial Graiman, contemplando los siguientes criterios:

- El historial de fallo se lo obtendrá a raíz de una extracción de datos del sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) utilizado en la empresa.
- El periodo se lo ha establecido durante los tres años de funcionamiento. Desde febrero 2017 a febrero 2020.
- Durante el lapso establecido se considera un tiempo de funcionamiento promedio de 15 horas al día. Todas las partes del equipo que se contempla dentro del manual técnico propuesto por el fabricante.



Figura 2. Equipo Molino Vertical PFEIFFER MPS 2500 BC de Cemento Atenas (enero, 2019)

Con este modelo se podrá observar los componentes críticos del equipo en estudio que afectan directamente a la confiabilidad de la máquina, y de esta forma poder tomar decisiones de mejora de procedimientos, materiales, repuestos y planificación.

## **III. DESARROLLO**

El molino vertical ha sido subdividido en subsistemas los cuales son cotejados junto a sus modos de fallos posibles para el equipo, los cuales se detallan a continuación:

**Piezas de desgaste:** son todos los elementos que se encuentran en el interior del equipo y están propensas al desgaste progresivo según su operación.

**Instrumentación:** son todos los componentes que permiten analizar la operación del equipo, como son los sensores, sistema de adquisición de datos, entre otros.

Sistema motriz: son los componentes que transmiten movimiento al equipo para su funcionamiento.

Sistema hidráulico: son todos los componentes que permiten el correcto funcionamiento del molino en operación para amortiguar los movimientos y golpes del molino. Ejemplo: central hidráulica, mangueras, válvulas, entre otros.

Sistema eléctrico: Son todos los componentes eléctricos que se encuentran conectados al equipo y permiten su energización.

Operadores: Son las personas que permiten operar de forma correcta al molino.

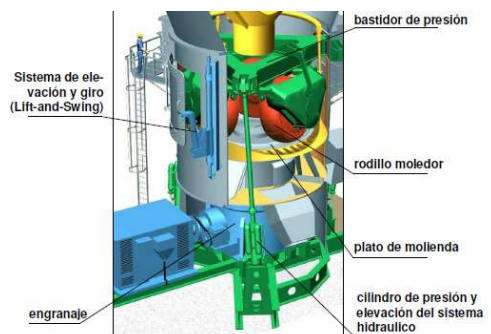


Figura 3. Partes del molino vertical (Manual fabricante Molino Pfeiffer)

Con estos conceptos, ahora se realizará el análisis de confiabilidad operacional de los diferentes componentes ligados a los subsistemas descritos. Para ello se escogerán las partes que tienen mayor relevancia para el proceso. Con esto también podremos describir sus fallas más importantes y armar el diagrama de bloques para analizarlo como sistema.

Tabla 1. Despiece del molino vertical

SUBSISTEMAS	COMPONENTES
1 Piezas expuestas al desgaste	A Rodillos moledores
	B Mesa moledora
	C Placas de protección
2 Instrumentación	A Sensores
3 Sistema motriz	A Motor
	B Reductor
4 Sistema hidráulico	A Barra tracción
	B Grupo hidráulico
5 Sistema eléctrico	A Transformador
6 Operación	A Operadores

Realizando un análisis desde la parte operativa, en la figura 4 se representa el diagrama de bloques de los subsistemas del molino:

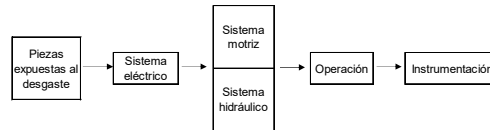


Figura 4. Disposición del diagrama de bloques de los subsistemas del molino

Para los cálculos, se apoya en los registros de mantenimiento y en el sistema ERP de la empresa, nuestro dato base será el periodo que estudiaremos al equipo, que son los 3 primeros años puestos en operación desde febrero 2017 a febrero 2020, según los registros el equipo ha operado en un promedio de 15 horas diarias.

Por lo tanto, el primer cálculo es la tasa de falla ( $\lambda$ ), el cual se lo calcula de la siguiente forma:

$$\lambda = \frac{f}{ta - tf}$$

$f$  = número de fallas del componente durante el tiempo de análisis

$ta$  = tiempo de análisis

$tf$  = tiempo fuera de operación del equipo

De esta forma obtenemos la fiabilidad individual de los subsistemas en estudio, tal como nos presenta la tabla 2.

Tabla 2. Cálculos de confiabilidad y disponibilidad de subsistemas del molino

SUBSISTEMAS	# DE FALLOS	TASA DE FALLOS INDIVIDUAL (fallos/h)	FIABILIDAD INDIVIDUAL (%)	MTBF (horas)	MTTR (horas)	DISPONIBILIDAD
1 PIEZAS EXPUUESTAS AL DESGASTE	32	0.002107065	0.00%	474.59	38.89	92.46%
2 INSTRUMENTACIÓN	22	0.001342855	0.00%	744.68	1.91	99.74%
3 SISTEMA MOTRIZ	9	0.000552384	0.01%	1810.33	14.67	99.20%
4 SISTEMA HIDRÁULICO	18	0.001113517	0.00%	898.06	14.44	98.42%
5 SISTEMA ELÉCTRICO	1	6.10314E-05	36.70%	16385.00	40.00	99.76%
6 OPERACIÓN	300	0.01843318	0.00%	54.25	0.50	99.09%

Sin embargo, para la fiabilidad total del sistema se realiza se calcula como una analogía de circuitos serie-paralelo con el diagrama de bloques constituido.

Además, la fiabilidad del sistema se calcula con una ecuación exponencial:

$$R(ta) = e^{-\lambda * ta}$$

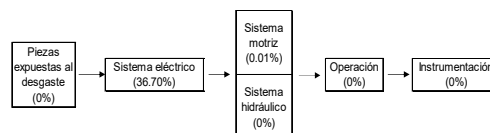


Figura 5. Diagrama de bloques con cálculo de confiabilidad

$$Req(ta) = 1 - ((1 - 0.01\%) * (1 - 0\%))$$

$$Req(ta) = 0.0115\%$$

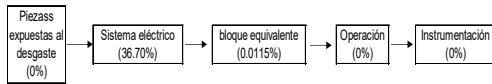


Figura 6. Diagrama de bloques en serie

$$Rt(ta) = 0\% * 36.7\% * 0.0115\% * 0\% * 0\%$$

$$Rt(ta) = 0\%$$

Basados en el mismo cálculo para disponibilidad de sistema completo nos da un resultado de 91.15%.

De esta forma obtenemos los resultados de confiabilidad 0% y disponibilidad del 91.15%.

Con estos dos resultados podemos comprobar que, a pesar de la baja confiabilidad del equipo, siguió operando cuando lo requirieron. Esto a su vez indica que, en el tiempo analizado (16425 horas) y bajo su contexto operacional, el molino abasteció la demanda productiva, es decir, el equipo está sobredimensionado.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 7, muestra un análisis comparativo de las confiabilidades de los diferentes subsistemas analizados y del sistema en general del molino vertical

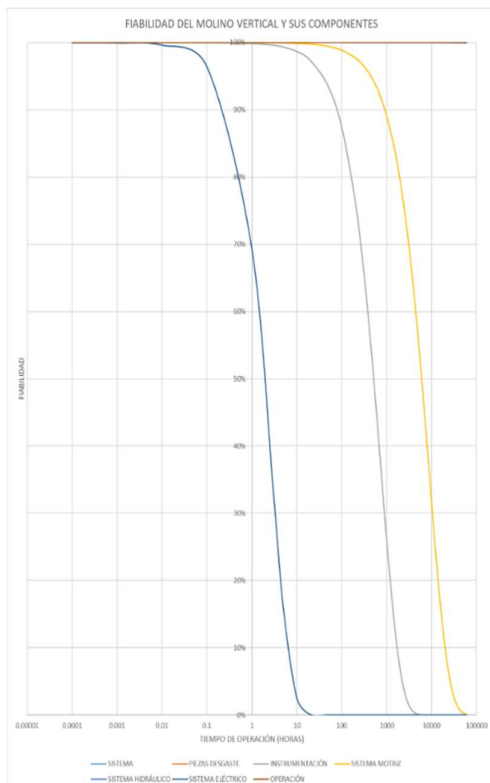


Figura 7. Gráfica de confiabilidad en el tiempo de los subsistemas según cálculos en t = 16425 horas

En la gráfica 7, se pudo observar que el sistema motriz, instrumentación y sistema eléctrico pierden confiabilidad a lo largo del tiempo, mientras que los otros subsistemas llegan a bordear el 100% de su confiabilidad en todo el tiempo analizado.

Adicional, en la figura 8, también se evaluó gráficamente la comparación de disponibilidad de los subsistemas y del sistema en el tiempo escogido para su análisis (16425 horas).

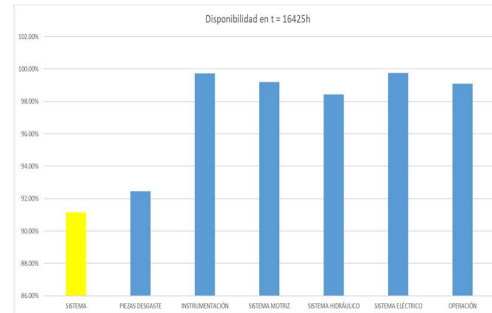


Figura 8. Disponibilidad del sistema y subsistemas del molino

Como se puede ver en la gráfica 8, la disponibilidad en relación con la producción es alta (>90%), sin embargo, hay que recordar que el molino fue analizado en base a 15 horas productivas diarias, por ello su confiabilidad no repercute en la operatividad de la empresa.

Se ha extraído también los modos de fallos más frecuentes del equipo, creando así un catálogo de fallos, los cuales se presentan en la tabla 3:

Tabla 3. Modos de fallos frecuentes del molino vertical

SUBSISTEMAS	COMPONENTES	MODO DE FALLA		
1 Piezas expuestas al desgaste	A Rodillos moleadores	1 Desgaste del rodillo por proceso productivo		
		2 Agrietamiento de rodillo molidor		
		3 Cambio de rodamiento del rodillo		
	B Mesa molidora	1 Desgaste de la mesa molidora por proceso productivo		
		2 Daño en mesa		
		3 Cambio de placas de la mesa		
2 Instrumentación	A Sensores	1 Desgaste de las piezas internas		
		2 Sensor no envía señal a sistema SCADA		
		3 Sensor defectuoso o dañado		
3 Sistema motriz	A Motor	1 Descalibración de sensores		
		2 Motor no arranca		
		3 Desalineación del motor		
		4 Cambio de rodamientos del motor		
	B Reductor	1 Cambio de fluido para arrancador del motor		
		2 Cambio de aceite		
		4 Sistema hidráulico	A Pistones hidráulicos	1 Desgaste de elementos expuestos del pistón
				2 Cambio de repuestos preventivos del pistón
3 Rotura de barra de tracción				
B Grupo hidráulico	1 Cambio de amortiguador hidráulico			
5 Sistema eléctrico	A Transformador	1 Cambio de electroválvulas		
		2 Conexiones eléctricas defectuosas		
		3 Cambio de aceite		
6 Operación	A Operadores	1 Daño correctivo en transformador		
		1 Mal manejo de operaciones		

En la tabla 3, se encuentran detallados los daños más frecuentes y probables que puedan ocurrir, es decir que una afectación de estas pueda provocar una parada que incida directamente en la parte financiera de la empresa.

## V. CONCLUSIONES

1. Se identificaron los componentes que existen en el molino vertical, en donde se pudieron separar por subsistemas y de esta forma entender un poco más las partes que lo integran. Este despiece se lo hizo en base a reconocimiento visual, experiencia y ayuda del catálogo propio del equipo.
2. Se extrajo información de la base de datos de mantenimiento, la cual ayudó a ubicar los fallos en los diferentes subsistemas analizados. La ayuda de la experiencia del personal también fue clave para la recolección de datos y su buen procesamiento.
3. Luego de haber recogido la base de datos y clasificar sus modos de fallos más recurrentes por subsistemas, se elaboró un catálogo de fallas que conlleva al análisis. Las cuales también se añadió en base a la experiencia de los posibles fallos que puedan existir. Se logró receptar 24 modos de fallos, de los cuales 3 de ellos no entran en el periodo de tiempo que se analizó, estos fueron: cambio de rodamiento del rodillo, cambio de segmentos de mesa, ruptura de la barra tracción del pistón. Para estos casos se evaluó para un daño posible en las 30000 horas de producción.
4. La confiabilidad del molino es muy baja (0%) para las horas asumidas en este análisis, sin embargo, su disponibilidad (91%) nos indica que siempre que fue requerido estuvo dispuesto a operar. La cantidad de fallas se refleja en su baja confiabilidad, la alta disponibilidad se refleja en que siempre se pudo abastecer la meta productiva. Esto ratifica que el molino no ha estado produciendo en su capacidad máxima, y que los planes de mantenimiento se deben ajustar para evitar fallas inoportunas que nos afecten en el giro de negocio, aún más cuando cada vez la exigencia es mayor en el mercado.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen Santísima por haberme hecho parte de esta maestría y poder abarcar estos conocimientos importantes para mi currículum y experiencia profesional.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional y su muestra de cariño para continuar con firmeza mis estudios.

Agradezco a mis profesores, sobre todo a mi tutor de tesis Luis Felipe, quien hizo posible el correcto desarrollo de esta, y por enseñarme lo valioso que es una correcta gestión de mantenimiento.

Finalmente, agradezco a mi empresa Cemento Atenas del Grupo Industrial Graiman, quien me permitió obtener los datos para la creación de mi tesis.

## REFERENCIAS

- [1] Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ó. J. de la Garza Garza, J. C. Arteaga García, y Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Nuevo León, «Análisis de la competencia en la industria cementera en México», *econoquantum*, vol. 8, n.º 1-2, pp. 73-89, nov. 2011, doi: 10.18381/eq.v8i12.130.
- [2] T. Schmitz, «Introducing the Vertical Roller Mill with Driven Rollers: An Innovation and Reliable Concept Suitable for Driving Large Mills», *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 21, n.º 6, pp. 68-71, nov. 2015, doi: 10.1109/MIAS.2014.2345804.
- [3] R. K. Mobley, *Maintenance fundamentals*, 2nd ed. Amsterdam; Boston: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2004.
- [4] J. Knezevic, *Mantenibilidad*. Madrid: Isdefe, 1996.
- [5] «UNE-EN 16646:2015 Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de activos físicos».
- [6] «John Moubray - Reliability Centred Maintenance.pdf». .
- [7] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, y A. Crespo, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo», *Ingeniare Rev. Chil. Ing.*, vol. 21, n.º 1, pp. 125-138, abr. 2013, doi: 10.4067/S0718-33052013000100011.
- [8] L. A. Mora, *Mantenimiento: planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega, 2009.
- [9] P. Fajardo y G. Patricio, «Propuesta de un modelo de confiabilidad para la red de telecomunicaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.», 2017, Accedido: mar. 10, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6754>.
- [10] Ing. H. J. P. MBA. Ing. León Avila Jhonny Marcelo, «PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO PARA EL EQUIPO MINERO DE UCEM-CEM-PG, COMO SOPORTE PARA MEJORAR LA CONTRATACIÓN DE SEGUROS», UNIVERSIDAD DEL AZUAY, CUENCA-ECUADOR, 2017.
- [11] M. Pesántez y E. Alejandro, «Propuesta de un modelo de confiabilidad para cajeros automáticos de marca Diebold de la serie 510, 512, 520, 522, 560, 562 ubicados en el Azuay», 2016, Accedido: mar. 10, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6488>.